Švietimo Ministerijos
Knygų Leidimo Komisijos leidinys

Prof. V. ČEPINSKIS

FIZIKOS PASKAITOS

VII skyrius

MAGNETIZMAS ir ELEKTRA

KAUNAS — Valstybės Spaustuvė. — 1926 m.

Švietimo Ministerijos
Knygų Leidimo Komisijos leidinys

Prof. V. ČEPINSKIS

FIZIKOS PASKAITOS

VII skyrius

MAGNETIZMAS ir ELEKTRA

Prof. D-ro Pr. Mažylio
2/7
BIBLIOTEKA

KAUNAS — Valstybės Spaustuvė. — 1926 m.

Prakalba.

Patiektas čia „Magnetizmo ir Elektros“ kursas išėjo platokas — platesnis, kaip kiti „Fizikos Paskaitų“ skyriai. Tai atsitiko del to, kad kursas buvo rašomas Lietuvos Universiteto studentams, kurie klauso ne tik paskaitų, bet atlieka praktikos darbus iš kiekvieno fizikos skyriaus laboratorijoje, neturėdami lietuviškų vadovėlių laboratorijos darbams. Taigi, rašant „Magnetizmo ir Elektros“ kursą reikėjo ne tik suteikti pagrindinių žinių iš magnetizmo ir elektros ir nors trumpai paliesti svarbiausieji pritaikymai gyvenimo reikalams, bet ir aprašyti svarbiausieji aparatai ir magnetiškų bei elektriškų matavimų metodai. Pagaliau, negalima buvo neįterpti į kursą visos eilės naujų išradimų, naujų dėsnių ir teorijų, išrastų ir sugalvotų nuo XX amžiaus pradžios. Taigi, šitame kurse iš naujesniųjų dalykų išdėstyti radio telegrafo ir radio telefono pagrindai, elektrinė materijos teorija santyky su riadioaktingumu ir X-spindulių taikymas kristalų struktūrai ir atominei struktūrai nagrinėti. Negalima buvo nepaliesti ir Einšteino relatyvybės teorijos, kuri žada iš pamatų pakeisti klasiškos mechanikos dėsnius ir kuri šiandien pergyvena gan sunkų krizį. Aplamai, elektromagnetiniai fenomenai kasdien įgyja vis didesnės ir didesnės reikšmės kaip gyvenimui, taip fizikos ir chemijos mokslams akivaizdoje priimtos dabar elektrinės materijos teorijos. Visiškai nepriklausomai nuo to, ar Einšteino teorija ištesės ar žlugs, senosios klasiškos mechanikos vieta fizikoje bus užimta elektromagnetine teorija, kurios pagrindus padėjo Faraday'us ir Maxwell'is. Vietoj mechaninės fizikos mes šiandien jau turime elektromagnetinę fiziką. Visa tai pakankamai pateisina šito „Fizikos Paskaitų“ skyriaus platumą.

Šiaipjau, ir šitas skyrius yra prieinamas ir augštesniųjų mokyklų vyresniųjų klasių mokiniams, išėmus tik tas dalis, kur dalyką išaiškinant ir aprašant vartojami augštosios matematikos metodai. Matematika negali būti vadovu fizikai, bet apsieiti fizikoje be matematikos taipgi negalima. Be to, augštosios matematikos šitame kurse paimta tiek, kiek šiandien reikalaujama iš baigiančių augštesniąsias mokyklas Vakarų Europoje. Pagaliau, autorius stengėsi kiekvieną dalyką išaiškinti iš pradžios konkrečiais pavyzdžiais, su pagalba žinomų sąvokų ir dydžių, ir tik paskui, tą patį dalyką norėdamas tobuliau išreikšti, griebėsi matematikos. Taigi, ypatingų sunkumų augštesniųjų mokyklų auklėtiniams šitas kursas nesudarys. Tačiau autorius žino, kad ir Universiteto studentams ir augštesniųjų mokyklų mokiniams skaitant šitą kursą teks kai kada gerokai pagalvot. Bet tai yra būtina sąlyga ir dalykui suprasti ir tvirtoms žinioms įsigyti.

Rašydamas šitą kursą autorius naudojosi šiais fizikos veikalais:

1. Poynting and Thomson „Electricity and Magnetism“;
2. J. Clerk Maxwell „A Treatise on Electricity and Magnetism“ (Traktatas apie elektrą ir magnetizmą), du tomai;
3. Silvanus P. Thompson „Die Dynamoelektrischen Maschinen“, du tomai;
4. J. A. Fleming „The Alternate Current Transformer“ (Kintamosios srovės transformatorius), du tomai;

5. J. A. Fleming „Electrons, Electric waves and Wireless Telephony“ (Elektronai, elektros bangos ir bevielis telefonas);

6. G. W. C. Kaye „X Rays“;

7. Alfred W. Stewart „Recent Advances in Physical and Inorganic Chemistry“ (Naujieji dalykai fizikochemijoje ir neorganinėje chemijoje, liečią radio aktingumą ir elektrinę materijos teoriją).

Pagaliau, autorius negali čia užmiršti turiningų Züricho Politechnikumo profesoriaus H. W. Weberio paskaitų iš elektrodinamikos ir elektromagnetizmo, taip pat ir elektrotechnikos, kurias jis klausė Züriche 1896, 1897 ir 1898 metais. Rašydamas šitą kursą autorius visą laiką buvo įtakoje geriausio savo fizikos mokytojo Weberio.

Savo fizikos kursą autorius skiria Lietuvos jaunimui, tvirtai tikėdamas, kad to jaunimo tarpe atsiras gabių fizikų, kurie sugebės prisidėti prie šitos iškilmingos mokslo disciplinos tolimesnio augimo mūsų krašto naudai ir garbei. Senovės lietuviai saviškai suprato ir gerbė gamtą. Kosmoso didelės paslaptys daro galingos įtakos kiekvienam galvojančiam žmogui ir kosmoso dažnai baisus grožis smarkiai veikia ne tik poetiškos nuotaikos žmogų, bet ir visiškai blaivų žmogų. Vienas didžiausių dvasios srities kūrėjų, kurį pagimdė Lietuva, Mykalojus Čiurlionis, buvo pagautas kosmoso neišsemiamų paslapčių. Autorius tikisi, kad pastangos suprasti tą kosmosą padės naujai Lietuvai pasiekti tobulesnį gyvenimo laipsnį ne tik medžiagos, bet ir dvasios srityje.

V. Čepinskis
Lietuvos Universiteto Fizikos Profesorius.

1926. V. 2.
Kaune.

VII SKYRIUS.

Magnetizmas ir Elektra.

Magnetizmas.

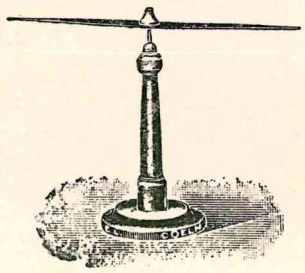
1 §. Prigimties ir dirbtiniai magnetai. Magnetų poliai (ašigaliai). Magnetinė busolė, arba kompasas. Magnetinės jėgos ir magnetinis momentas. Magnetinė indukcija. Magnetinimas. Molekulinė magnetizmo teorija. Coulombo dėsnis. Magnetinės masės vienetas. Magnetinis spektras ir magnetinių jėgų laukas. Magnetinimo intensingumas. Magnetinis įspūdingumas ir pralaidumas. Paramagnetiniai ir diamagnetiniai kūnai. Magnetinio lauko stiprumas. Gauso metodas magnetinio lauko stiprumui matuoti. Geometriškoji magnetinio lauko konstrukcija.

Jau, tur būti, nuo akmens gadynės laikų buvo žmonėms žinomas akmenukas, kuris pritraukia kitus akmenukus, turinčius geležies medžiagos. Tasai akmenukas yra ne kas kita, kaip magnetitas, viena iš geriausių geležies rūdžių sudėties $Fe_3O_4 = FeO. Fe_2O_3$. Šitas akmenukas dar geriau pritraukia geležies gabalus. Vėliau buvo pastebėta kita to akmenuko ypatybė: pakabinus jį ant siūlo arba išgręžus jame duobelę ir užmovus jį ant smailaus stiebo galo, taip kad jis galėtų suktis, jis pasvyravęs visuomet užima tokią būklę, kad jo vienas galas rodo į šiaurės pusę, o antras į pietų pusę. Yra žinių, kad dar prieš krikščionių erą kiniečiai vartojo tokius akmenukus kelrodžiais. Ypatingos jėgos, išeinančios iš tokio akmenuko, buvo pavadintos magnetinėmis ir patsai akmenukas prigimties magnetu, del Magnezijos miesto Mažojoje Azijoje, kurio apylinkėje randama daug šitos geležies rūdžių. Šiandien žinomi dideli kalnai, kurie yra sudaryti iš to mineralo, kaip, pavyzdžiui, Magnitnaja ir Blagodat Uralo srityje. Senovėje, dar prieš Kristų, buvo manoma, kad laivai, jeigu juose rasdavos geležies, tokių kalnų pritraukiami susikuldavę į uolų krantą.

Paėmus plieno gabaliuką ir pabraukus jo paviršių magnetitu, plienas irgi įgyja gabumo pritraukti lengviems geležies daiktams, ir tada toksai plienas vadinamas dirbtiniu magnetu. Pasirodo, kad dirbtinio magneto galai veikia nevienodai. Jeigu šiuo, nurodytu, būdu pagamintume kitą dirbtinį magnetą iš plieno ir pakabintume jį ant siūlo, tai, artindami prie jo galo vieną pirmojo dirbtinio magneto galą, mes pastebėsime, kad tie du magnetai traukiasi vienas prie antro. Bet artindami antrą magneto galą prie to paties galo pakabinto magneto mes pastebėsime juos atsitraukiant vienas nuo antro. Taigi du to paties magneto galai veikia priešingai tą patį kito magneto galą, ir todel abudu magneto galai vadinami jo poliais, arba ašigaliais.

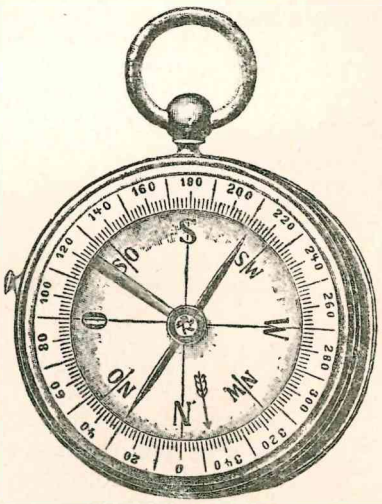
Pakabinus dirbtinį plieno magnetą bifiliariškai (vadinasi, ant 2 siūlų, taip kad magnetas būtų gulsčioje būklėje), jis pasvyravęs nusistato taip, kad jo vienas galas rodo į šiaurę, o antras į pietus. Pirmasai galas yra vadinamas šiaurės poliu, o antrasai pietų poliu. Galima pagaminti dirbtinis magnetas pavidalu adatos arba plono

siauro ištempto rombo, ir aprūpinti per vidurį tokia adata kepurėle (kaip rodo 1 pieš.). Užmovę ant aštraus stiebo galo tą adatą mes turėsime vadinamą magnetinę busolę. Kurį laiką pasvyravus į vieną ir į antrą pusę, busolė nusistato pagaliau taip, jog vienu savo galu rodo į šiaurę antru į pietus (žiūr. 1 pieš.). Kadangi, kaip jau mes matėme, tarp magnetinių polių tos pačios rūšies veikia atsparos jėgos, o tarp magnetinių polių priešingų rūšių veikia traukos jėgos, tad iš to, kad magnetinė adata busolės visuomet vienu galu rodo į šiaurę, o antru į pietus, reikia išvesti, kad žemė irgi turi du magnetinius polius priešingos rūšies, būtent: šiaurėje vieną polį ir pietuose antrą. Šitą išvadą yra padaręs dar XVI šimtmečio pabaigoje Anglų karalienės Elzbietos leibmedikas Williamas Gilbertas. Jis pirmutinis sistematingai tyrinėjo magnetines jėgas ir yra parašęs knygą „De Magnete“ (Apie magnetą). Gilbertas tvirtina, kad pati žemė yra milžiniškas magnetas ir kad to magneto pietų polis, kuriam duosime ženklą S, yra netoli nuo žemės geografiško šiaurės polio, o šiaurės polis, kuriam duosime ženklą N, yra netoli nuo geografiško pietų polio. Nuo Gilberto laikų yra dirbtinio magneto šiaurės poliu laikomas tas jo galas, kuris rodo į šiaurės pusę, ir pietų poliu tasai, kuris rodo į pietų pusę, ir žymimi tie poliai iš eilės ženklais N ir S. Taigi magnetinė adata nusistato savo šiaurės poliu į šiaurę todel, kad žemės pietų magnetizmas, kuris yra šiaurėje, traukia šitą polį. Taip pat adatos pietų polis nusistato į pietus todel, kad žemės šiaurės magnetizmas, kuris yra pietuose, traukia tą galą. Bet tai yra tik konvencijos dalykas, nes gal dar būtų patogesni ženklai, jeigu Gilbertas būtų susekęs, kad žemės magneto šiaurės polis randasi šiaurėje, o pietų polis pietuose, ir būtų pažymėjęs ženklu N tą magnetinės adatos polį, kuris dabar žymimas ženklu S, ir priešingai.



1 pieš.

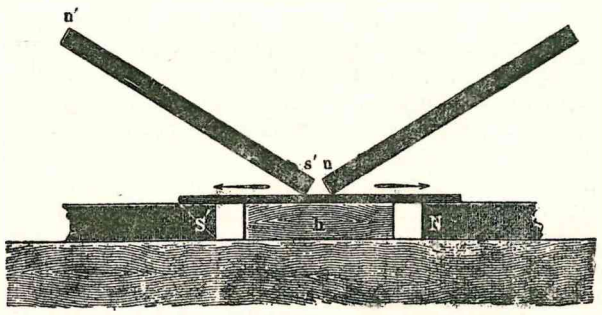
Iš to, kas čia pasakyta apie magnetą, aišku, kad gulsčiai ir judomai pakabintu arba paremtu magnetu galime naudotis, kad orientuotumės miške arba vandenyne naktį, kada dangus apklotas debesimis ir nematyti žvaigždžių, kitaip sakant, kad žinotume, kur šiaurė, pietūs, vakarai ir rytai. Yra žinoma, kad kinai dar keletą šimtmečių prieš krikščionių erą taip naudojosi magnetu; vadinasi, kinai yra kompaso išradėjai ir nuo seniausių laikų tuo kompasu naudojasi. Paprasčiausią kišeninį kompasą atvaizduoja 2 piešinys. Tai yra apskrita plona dėžutė varinė arba net ir medinė (tik ne geležinė!), kurios dugnas apklotas popierium. To popieriaus apskritimas padalintas į gradusus ir turi atatinkamose vietose iešmutes, pažymėtas ženklais N, S, O, W ir SO, SW ir NO, NW (Čia N reiškia šiaurę, S pietus, O rytus ir W vakarus). Centre tos dėžutės dugno randasi stiftas su aštriu galu ir ant to galo užmauta kepurėle, kuri randasi vidury magnetinės adatos siauro rombo pavidalu. Dėžutė uždaryta dangčiu, kurio viršus yra stiklinis. Kad magnetinė adata nesvyruotų visą laiką ir nenukristų nuo štifto aštraus galo, ji galima aretuoti (sustabdyti) tam tikro prietaiso pagalba. Atleidus adatą ji visuomet pasvyravus nusistato vienu galu į šiaurę, antru į pietus. Jeigu dabar imtume sukti dėžę atsargiai, tai adata nebekeičia savo būklės, ir todel galima sutapinti su adatos kryptimis liniją ant popieriaus disko, kurio galai pažymėti raidėmis N ir S, ir taip sutapinti, kad iešmos galas, pažymėtas raide N, būtų po magnetinės adatos šiaurės poliu, o galas, pažymėtas raide S, būtų po pietų poliu. Paprastai manoma, kad kompasas patekęs į Europą iš kinų XII šimtmečio pabaigoj arba XIII šimtmečio pradžioj Kryžiaus karų metu. Bet yra patirta, kad Skandinavijos vikingams ir normanams



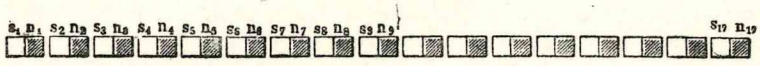
2 pieš.

kompasas buvo žinomas daug anksčiau, būtent, VIII—IX šimtmetyje Kristui gimus. Negali būti nė kokios abejonės, kad, atsiradus kompasui Europoje, tasai paprastas aparatas daug padėjo jūrininkystei plėtotis ir palengvino naujų kraštų atradimą.

Paėmus magnetą stiebo arba pailgos plokštelės pavidalu ir artinant jį, sakysime, prie geležinio rakto, tas raktas bus pritrauktas vis tiek kokį magneto polį mes artinsime prie rakto. Artinant pritrauktą tuo būdu raktą prie kito geležies rakto, lengvesnio, arba prie geležies vinies, ta vinis bus pritraukta, prie rakto. Vadinasi, raktas, pritrauktas prie magneto, pats darosi magnetu. Nesunku įrodyti magnetinės busolės, arba kompaso, pagalba, kad laisvas rakto galas turi tos pačios rūšies polį, kaip magneto polis, prie kurio raktas pritrauktas. Vadinasi, pritrauktas rakto galas turi priešingą polį. Pavyzdžiui, jeigu raktas pritrauktas magneto šiaurės poliu, tai ant laisvo rakto galo randasi šiaurės polis, o ant pritraukto galo pietų polis. Mes galime pritraukti prie magneto raktą, prie to rakto pritraukti kitą mažesnį raktą, prie šito mažesnio dar mažesnį ir t. t., ir visi tie raktai iš eilės pasidarys magnetais. Bet nuėmus pirmutinį raktą nuo magneto, nuo šito rakto tuojau nudribs visi kiti raktai. Aprašytas čia fenomenas vadinasi magnetine indukcija. Bet nėra reikalo paliesti geležinio rakto magnetu, kad raktas taptų magnetu. Laikant, sakysime, stiprų magnetą atokume 2 — 3 cm. nuo rakto, raktas tampa magnetu, nes artinant prie tolimesnio nuo magneto rakto galo geležies gabaliuką jis bus pritrauktas prie rakto. Tegu magneto šiaurės polis randasi atokume 2 — 3 cm. nuo rakto vieno galo. Busolės pagalba nesunku įrodyti, kad tolimesnis nuo magneto rakto galas turės taip pat šiaurės polį, o artimesnis pietų polį. Taigi magnetinė indukcija veikia atokume ir veikia ne tik tada, kada tarp magneto galo ir rakto yra oro, bet ir tada, kada tarp magneto galo ir rakto bus stiklas, vanduo, kaučiukas, medis, ir, pagaliau, kada tarp magneto galo ir rakto bus tuštuma. Tas veikimas nuo senų laikų žinomas „veikimu atokume," *actio in distans.* Taigi magnetinė indukcija pasireiškia tuo, kad padėti netoli nuo stipraus magneto geležiniai arba plieniniai daiktai darosi magnetais, geležiniai lengviau, plieniniai sunkiau, ir visuomet taip, kad tolimesni nuo magneto polio tų daiktų galai įgyja tos pačios rūšies magnetizmo, kaip magneto polio magnetizmas, o artimesni įgyja priešingos rūšies magnetizmo. Tarytum geležies ir plieno gabaliukai turi abiejų rūšių magnetizmus, sumaišytus taip, kad jie nereiškia jokio efekto išorėje; o priartinus prie jų magnetą, jisai perskiria abiejų rūšių magnetizmus, pritraukdamas priešingos rūšies magnetizmą ir nustumdamas tos pačios rūšies magnetizmą.



3 pieš.



3a pieš.

Magnetine indukcija remiasi magnetinimas, arba dirbtinių magnetų gaminimas. Dirbtiniai magnetai visuomet gaminami iš plieno, nes geležis tuojau nustoja magnetizmo, nustojant veikus indukcijai. Įmagnetinti plienas yra daug sunkiau kaip geležis, bet užtat plienas gan ilgą laiką sulaiko įgytą magnetizmą. Dirbtinis magnetas vadinasi *permanentinis magnetas.* Vieną iš paprasčiausių magnetinimo būdų rodo 3 piešinys. Ant medinės sijos h uždėta ilgoka plieno plokštelė keleto mm. storumo. Ta plokštelė savo galais liečia priešingus polius dviejų permanentinių magnetų N ir S. Paėmus kitus du

permanentinius magnetus ir sudėjus juo priešingais poliais n ir s, paliečiama tais galais plieno plokštelės vidurys. Dabar kartotinai braukiama plokštelė abiem magneto galais n ir s tolinant tuos galus vienas nuo antro. Tad viename plieno plokštelės gale susidaro šiaurės polis per indukciją, būtent, tame gale, kurį palies magneto S polis, o antrame plieno plokštelės gale susidaro pietų polis, būtent, tame gale, kurį palies magneto n polis. Magnetų poliai N ir S, ant kurių guli plieno plokštelės galai, stiprina šitą indukcijos veikimą. Atkartojus tokį braukimą keliolika arba kelias dešimtis sykių galima pagaminti gan stiprus permanentinis magnetas. Aišku, kad braukiant plieno plokštele, sakysime, magneto šiaurės polių, toje plokštelėje, per indukciją, susidaro pietų polis, kuris seka magneto šiaurės polį stumiant tą polį prie plokštelės galo, ir nustūmus magneto šiaurės polį nuo plieno plokštelės galo per indukciją įsigytas plokštelės pietų polis pasilieka tame gale. Tas pats reikia atkartoti del magneto pietų polio ir plokštelės šiaurės polio.

Sekant, kaip veikia dirbtinis magnetas, sakysime, geležies vinį, lengva parodyti, kad visų smarkiausias magnetinis veikimas reiškiasi ne pačiuose magneto galuose, bet, apskritai, atokume $^1/_{12}$ dalies magneto ilgio nuo paties magneto galo. Taigi šitos smarkiausio veikimo vietos vadinasi magneto poliai, arba ašigaliai. Atokumas tad tarp abiejų magneto polių, apskritai, yra lygus $^5/_6$ dalims magneto ilgio. Linija, jungianti magneto polius, yra vadinama magneto ašimi. Einant nuo magneto polių į magneto vidurį geležies vinis bus traukiama vis silpniau ir silpniau ir visiškai nebus pritaukta į magneto vidurį. Vadinasi, magnetinis veikimas silpnėja einant nuo magnetinių polių į vidurį ir darosi lygus 0 magneto vidury. Todel šitas magneto vidurys vadinamas magneto neutrale zona.

Paimsime dabar ilgoką plieno virbalą ir įmagnetinsime jį pabraukimu, kaip aukščiau aprašyta. Mes gausime permanentinį magnetą su šiaurės poliu viename gale ir su pietų poliu antrame. Perkirpę šitą įmagnetintą virbalą per vidurį aštriomis replėmis mes gausime du magnetus, kiekvieną su dviem priešingais poliais. Perkirpę tuos du magnetus per vidurį gausime keturis magnetus, paskui aštuonis magnetus ir t. t. Magnetinės busolės pagalba galima įsitikinti, kad visuomet perkirpimo vietoje mes turėsime du priešingus polius, kurie neutralizuoja vienas antrą, kol magnetas neperkirptas, ir apsireiškia vienas iš vienos pusės, antras iš antros pusės, kada magnetas perkirptas. Šituo eksperimentu remiasi molekulinė magnetizmo hipotezė, Ampero ir kitų paskelbta. Sakoma, kad geležis, plienas ir, aplamai, vadinamieji magnetiniai metalai yra sudaryti molekulomis, iš kurių kiekviena yra molekulinis permanentinis magnetas, turįs šiaurės ir pietų polius. Paprastai tos molekulos esti orientuojamos geležyje arba pliene įvairių įvairiausiomis kryptimis, taip jog tų molekulų šiaurės ir pietų magnetizmai neutralizuojami. Todel paprastai tie molekuliniai magnetai nereiškia jokio išorinio efekto, bet priartinus prie geležies arba plieno stiebo magnetą arba braukiant magnetu, sakysime, jo šiaurės poliu per geležies arba plieno stiebą, minėti molekuliniai magnetai orientuojasi tam tikra kryptimi, būtent, pasisuka taip, kad jų pietų poliai bus atkreipti į magneto šiaurės polį, o jų šiaurės poliai bus atkreipti į priešingą pusę. Tuo būdu geležyje arba magnete susidaro eilės molekulų ir jose kaimyniniai poliai visuomet priešingi ir galuose eilių priešingi poliai (žiūr. 3 pieš. iš apačios). Vidury eilių tie poliai neutralizuoja vienas antrą, o galuose jie nekompensuojami, ir todel mes gaunume magnetą su šiaurės poliu viename gale ir pietų poliu antrame. Kad būtų pasuktos molekulos iš jų paprastos prigimties būklės į šitą rikiuotės būklę, reikia atlikti tam tikras darbas, mažesnis geležiai ir didesnis plienui; geležies molekulos lengvai pasukamos iš jų normalės padėties į jų, sakysime, magnetinę padėtį, bet plieno molekulos reiškia didelio pasipriešinimo. Antra vertus, nustojus veikti magnetinei indukcijai, geležies molekulos lengvai grįžta į jų normalę padėtį, plieno molekulos daug sunkiau grįžta. Mes kalbame šituo atveju apie didesnę plieno koercijos jėgą, kaip geležies koercijos jėga. Taigi mes negalime pagaminti iš geležies permanentinio magneto del labai mažos geležies koercijos jėgos.

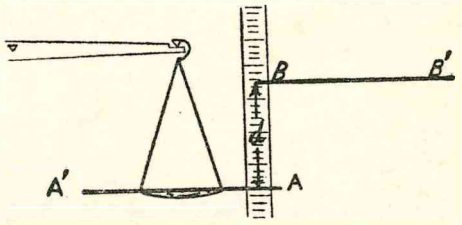
Del to magnetinimo pabrėšime, kad geležiniai daiktai ilgoko pavidalo, kaip stiebai, sijos, balkiai ir t.t., jeigu jie padedami išilgai žemės magnetinės jėgos veikimo

krypties, indukcijos keliu tampa magnetais. Bet pakeitus tokių daiktų būklę magnetizmas greitai išnyksta. Tas pats reikia pasakyti ir apie plieno daiktus, tik tuo skirtumu, kad jie padėti išilgai žemės magnetinės jėgos veikimo ne taip lengvai darosi magnetais. Bet jie ir ne taip lengvai nustoja magnetizmo.

Kaip pamatysime žemiau, šiandien dirbtiniai magnetai gaminami leidžiant elektros srovę per izoliuotus vielos vingius, kuria apvyniotas plieno stiebas arba plieno plokštelė. Tas yra lengviausias būdas gauti stipriam permanentiniam magnetui.

Einant molekuline magnetizmo hipoteze magnetinimas įvyksta, taip sakant, išsirikiuojant molekuloms taisyklingomis eilėmis savo šiaurės poliais į vieną pusę, o savo pietų poliais į antrą pusę. Taigi suprantama, kad sutrenkimas, sudavimas plaktuku per geležies arba plieno stiebą labai pagreitina magnetinimą. Taip, paėmus ilgoką geležies stiebą ir padėjus jį išilgai žemės magnetinės jėgos veikimo krypties ir mušant į vieną to stiebo galą plaktuku lengva jis įmagnetinti. Sutrenkimas išjudina geležies arba plieno molekulas ir palengvina joms pasisukti iš savo normalių būklių į rikiuotės būklę. Bet sutrenkimu galima ir panaikinti permanentinio magneto magnetizmas, kitaip sakant, galima išmagnetinti. Ir čia sutrenkimas išjudina molekulinius magnetus ir palengvina jiems iš taisyklingos rikiuotės būklės grįžti į normalę chaotišką būklę. Pakanka keletą sykių smarkiai suduoti permanentiniu magnetu į akmenį, kad žymiai nusilpnėtų jo magnetizmas arba net visiškai pranyktų. Temperatūros pakilimas irgi išjudina molekulas. Todel kaitinimas permanentinio magneto žymiai silpnina jo magnetizmą. Įkaitinus permanentinį magnetą iki paraustant jis visiškai nustoja magnetizmo.

Aprašyti čia dalykai buvo jau žinomi XVI ir XVII am. Bet pirmos pastangos ištirti magnetinių jėgų kiekybės santykius buvo padarytos tik XVIII am. Prancūzas Coulomb'as (skaityk Kulon) 1785 metais pirmutinis išmatavo magnetines jėgas ir paskelbė savo garsųjį dėsnį, kuris sako, kad jėga, veikianti tarp dviejų magnetinių polių arba tarp dviejų taškų, kuriuose sukoncentruoti magnetizmo kiekiai arba magnetizmo masės m_1 ir m_2 ir kurios randasi atokume d viena nuo kitos, yra proporcinga toms masėms ir atvirkščiai proporcinga kvadratui atokumo tarp jų. Vadinasi, $f = \pm \frac{m_1 m_2}{d^2}$. Čia f reiškia jėgą dinomis, ženklas + reiškia atsparos jėgą, kada mes turime du tos pačios rūšies polius, o ženklas — reiškia traukos jėgą, kada mes turime du priešingos rūšies polius. Šita lygtis veikia tuštumoje ir ore. Bet jeigu magnetiniai poliai randasi kitam kuriam mediume, tai tada mes turime tokią lygtį: $f = \pm \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m_1 m_2}{d^2}$. Koeficientas $\frac{1}{\mu}$ yra gangreit lygus vienetui oro ir visai eilei dujų, taip kad magnetinė jėga ore yra gangreit ta pati kaip ir tuštumoje. Coulombas nustatė savo dėsnį, išmatavęs magnetines jėgas su pagalba vadinamų suktinių, arba torsijos, svarstyklių. Apie šitas svarstykles pakalbėsime smulkiau kalbėdami apie elektros atsparos ir traukos jėgų matavimą. Čia tik trumpai aprašysime vadinamas magnetines svarstykles (žiūr. 4 pieš.), kuriomis galima patikrinti Coulombo dėsnį. Mes čia turime paprastas, bet gana jautrias svarstykles. Piešiny parodyta tik viena tų svarstyklių lėkštė. Ties ta lėkšte pastatyta vertikaliai skala, padalinta milimetrais. Reikia turėti keletas plieno virbalų visiškai vienodo ilgio ir diametro. Visi tie virbalai įmagnetinami aukščiau aprašytu būdu (pabraukimu permanentiniu magnetu). Virbalai turi būti pakankamai ilgi, kad, kiek galima, būtų sumažintas tolimesniųjų polių veikimas tiems jų poliams, kurie randasi vienas viršuj antro. Kaip rodo piešinys, vienas iš tokių virbalų AA^1 uždedamas ant svarstyklių lėkštės ir nusveriamas dedant pasvarėlius kiek reikia ant kitos lėkštės. Kitas virbalas BB^1 vienu galu įdedamas į štatyvo klemą ir antruoju ties skala, taip kad antrasis jo galas B būtų tos pačios rūšies polis, kaip ir galas A. Atokumas tarp A ir B, lygus d, atskaitomas ant skalos. Tarp



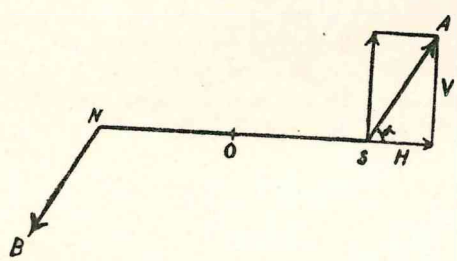
4 pieš.

polių A ir B tos pačios rūšies veikia atsparos jėga. Vadinasi, polis A bus nustumtas žemyn ir ant kitos svarstyklių lėkštės reiks pridėti, sakysime, svorį p gramų, kad būtų atsverta atsparos jėga. Padėjus virbalą B B^1 taip, kad jo galas B būtų atokume $\frac{d}{2}$ nuo galo A, ant kitos svarstyklių lėkštės reiks uždėti pusiausvyrai atstatyti svorį 4p, kad galas B būtų atokume $\frac{d}{3}$ nuo galo A, ant kitos svarstyklių lėkštės reiks uždėti svorį 9p ir t.t. Dabar sumažėjus atokumui tarp A ir B dusyk, atsparos jėga padidės keturissyk, sumažėjus tam atokumui 3 syk, atsparos jėga padidės 9 syk ir t.t. Taip pat padidėjus atokumui tarp A ir B dusyk atsparos jėga sumažės 4 syk, padidėjus tam atokumui 3 syk atsparos jėga sumažės 9 syk ir t.t. Įdėjus į štatyvo klemą du virbalus B B^1 ir taip pat jų galus B ties skala, mes konstatuosime, kad reikia ant antros svarstyklių lėkštės pridėti 2p gramų, kad svarstyklės būtų pusiausvyroje prie atokumo tarp A ir B, lygaus d cm. Sudėjus tris virbalus B B^1 ir palikus jų galus B tam pačiam atokume nuo virbalo A A^1 galo A reikės pridėti 3p gramų ant kitos lėkštės, kad būtų atstatyta pusiausvyra ir t.t. Taigi čia mes turėsime magnetizmo kiekius, kurie santykiuoja kaip 1 : 2 : 3... Tokiomis sąlygomis atsparos jėgos santykiuoja irgi kaip 1 : 2 : 3.

Einant Coulombo dėsniu galima nustatyti magnetizmo kiekio arba magnetinės masės vienetas. Paimsime dvi lygias magnetines mases m ir m ir sukoncentruosime jas taškuose atokume 1 cm. Tad $f = m^2$. Jeigu mes paruošime mases m ir m taip, kad atsparos jėga tarp jų būtų lygi 1 dinai, tad m = 1. Vadinasi, magnetinės masės vienetas yra tokia magnetinė masė, kuri į tokią pat magnetinę masę, atokume 1 cm., veikia jėga 1 dinos.

Iš lygties $f = \frac{m^2}{d^2}$ eina $m = \sqrt{fd^2}$. Kadangi $f = Mg = \frac{ML}{T^2}$ (čia g reiškia greitėjimą, kurio didumas, aplamai, yra lygus $\frac{L}{T_2}$), tai $m = \sqrt{\frac{d^2ML}{T^2}}$ arba $\sqrt{\frac{L^3M}{T_2}} = M^{1/2}L^{3/2}T^{-1}$, nes d yra irgi ne kas kita, kaip ilgis. Taigi $M^{1/2}L^{3/2}T^{-1}$ yra magnetinės masės vieneto dimensija, arba didumas.

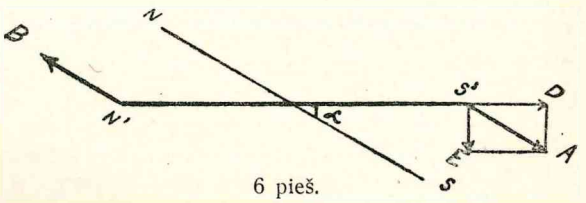
Žemės magnetinė jėga veikia įvairiose vietose įvairiomis kryptimis. Ant žemės magnetino polio magnetinė jėga veikia vertikaliai, sudarydama kampą 90° su akiračiu. Ant žemės magnetinio pusiaujo tasai kampas lygus 0. Tarp magnetinio polio ir magnetinio pusiaujo tasai kampas turi vertės tarp 90° ir 0°. Tasai kampas vadinasi magnetinė inklinacija. Tai yra kampas, kurį sudaro žemės magnetinės jėgos kryptis su akiračiu arba su gulsčia linija. Taigi jeigu mes turime magnetą, paremtą jo masės centre 0 arba pakabintą už masės centro, tai to magneto polius veikia lygios, bet priešingai atkreiptos jėgos SA ir NB (žiūr. 5 pieš.). Tos jėgos sudaro su gulsčia kryptimi kampą α. Tai yra magnetinė inklinacija. Kiekviena iš tų jėgų yra dviejų jėgų atstojamoji. Sakysime, jėga SA yra atstojamoji traukos jėgos, kurią reiškia žemės šiaurės polis (randasi netoli nuo žemės geografiško pietų polio) į magneto pietų polį, ir atsparos jėgos, kurią reiškia žemės pietų polis (randasi netoli nuo žemės geografiško šiaurės polio) į magneto šiaurės polį. Tas pats reikia pasakyti del jėgos NB. Vadinasi, pakabintas arba paremtas taške 0 magnetas yra įtakoj polio jėgų. Taigi toksai magnetas gali tik suktis, ir jis suksis arba svyruos tol, kol nenusistatys savo ašimi išilgai žemės magnetinės jėgos krypties.



5 pieš.

Šitą žemės magnetinę jėgą SA arba NB (žiūr. 5 pieš.) galima pakeisti dviem komponentomis gulsčia ir vertikale kryptimi, kaip rodo piešinys. Pažymėsime vertikalę

komponentą ženklu V, o gulsčią komponentą ženklu H. Tad iš piešinio aišku, kad $V = H \operatorname{tg}\alpha$ arba $\frac{V}{H} = \operatorname{tg}\alpha$. Taigi santykis tarp vertikalės ir gulsčios komponentų yra lygus tangentei magnetinės inklinacijos. Kada magnetas paremtas arba pakabintas taip, kad jis gali suktis arba svyruoti tik vertikalėje plokštumoje, tad veikia tik vertikalė komponenta V. Kada jis pakabintas arba paremtas taip, kad gali suktis tik gulsčioje plokštumoje, tada veikia tik gulsčia konponenta H. Dažniausiai fizikoje mums teks turėti darbo su magnetu, kuris sukasi arba svyruoja gulsčioje plokštumoje ir todel praktiškai ypatingos reikšmės turi gulsčia komponenta H.

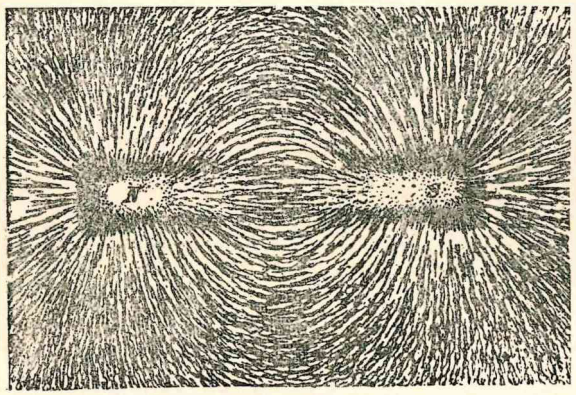


6 pieš.

6 piešinys atvaizduoja magnetą N S, kuris užima padėtį išilgai gulsčios komponentos H ir gali suktis arba svyruoti tik gulsčioje plokštumoje. Atlenksime šitą magnetą iš padėties NS į padėtį N'S', taip kad toje naujoje padėtyje magneto ašis sudaro kampą α su kryptimi NS, vadinasi, su kryptimi gulsčios komponentos H žemės magnetizmo. Tada mūsų magnetas bus įtakoje porio jėgų S'A ir N'B. Kad surastume sukamąjį šito porio momentą, išskaidysime jėgą S'A (arba jėgą N'B) į dvi: statmenai linijai N'S' ir išilgai tos linijos. Komponenta išilgai N'S', būtent, jėga S'D bus kompensuota magneto įtempimu, o statmena komponenta S'E turės tam tikrą sukamąjį momentą, kuris bus lygus $\frac{1}{2}$ S'E. Čia l reiškia magneto ilgį arba, tiksliau kalbant, atokumą tarp jo abiejų polių. Iš figūros 6 piešinio išeina, kad $S'E = H \sin \alpha$. Taigi sukamasai jėgos S'E momentas bus lygus $\frac{1}{2} H \sin \alpha$. Antrą magneto polį veikia toks pat sukamasai momentas. Taigi porio jėgų sukamasai momentas čia bus lygus $lH \sin \alpha$, jeigu magneto poliuose sukoncentruotos magnetinės masės, lygios kiekviena l. Jeigu magneto poliuose sukoncentruotos magnetinės masės, lygios kiekviena m, tad porio jėgų sukamasai momentas bus aukščiau nurodytomis sąlygomis $ml H \sin \alpha$, nes magnetinė jėga, veikianti tarp magneto polių ir žemės, šituo atveju yra proporcinga m ir H. Aišku, kad tasai sukamasai momentas bus lygus 0 kada $\alpha = 0$; vadinasi, kada magnetas užims būklę išilgai žemės magnetizmo gulsčios komponentos. Šitas sukamasai momentas pasieks maksimumą ir bus lygus mlH, kada $\alpha = 90^0$, vadinasi, kada magneto ašis sudaro tiesų kampą su žemės magnetizmo gulsčios komponentos kryptimi. Dydis ml vadinasi magnetinis momentas, ir tasai dydis žymimas fizikoje ženklu M ($M = ml$). Taigi, konkretiškai kalbant, magnetinis momentas yra ne kas kita, kaip sukamasai momentas porio jėgų, kada magnetinė jėga H yra lygi 1 ir kada magnetas sudaro kampą 90^0 su tos jėgos H kryptimi.

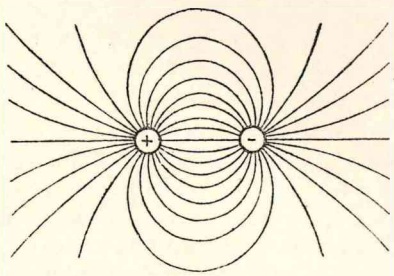
Paimsime permanentinį magnetą, uždėsime ant jo popieriaus lapą ir bersime ant to popieriaus lapo per smulkų sietą smulkius geležies miltelius, sutrenkdami laiks nuo laiko iš lengvo popieriaus lapą. Tokiomis sąlygomis smulkios geležies dalelės sustos apie magnetą tam tikromis linijomis, kurių vaizdą rodo 7 piešinys. Šitas vaizdas žinomas jau nuo Williamo Gilberto laikų ir vadinasi magnetinis spektras. Kiekviena geležies dalelė magneto apylinkoje tampa mažučiu magnetu per indukciją. Tą dalelę veikia dvi jėgos iš magnetinių polių N ir S, ir dalelė nusistato išilgai atstojamosios jėgos. Taigi visos smulkios geležies dalelės nusistato linijomis, kuriomis veikia magnetinės jėgos magneto artimiausioje apylinkoje. Jeigu mes vieton smulkių geležies miltelių paimtumėm daugybę mažučių magnetinių busolių ir sukrautume jas magneto apylinkoje iš visų pusių, tai tų busolių magnetinės adatos nusistatytų tokiomis pat kreivomis linijomis, kurias atvaizduoja 7 piešinys. Nuo Faraday'aus laikų šitos kreivos linijos vadinamos jėgų linijomis ir erdvė magneto apylinkoje vadinasi magnetinių jėgų laukas, nes tos linijos kiekvienoje magnetinio lauko vietoje duoda kryptį, kurią toje vietoje veikia magnetinė

jėga (tiksliau kalbant, liečiamosios toms linijoms per kiekvieną jų tašką). Geležies miltelіais mes demonstruojame tokių krypčių, kuriomis veikia magnetinės jėgos, buvimą, bet erdvėje magneto apylinkoje tos kryptys yra ne kas kita, kaip geometriškos linijos, kurios turi tik vieną dimensiją, būtent, išilginę, taip kad, sakysime, per 1 kvadratinį centimetrą erdvės skerspjūvio tokių linijų eina begalinė daugybė. Fizika moko, kad tos linijos visuomet išeina iš šiaurės polio, tęsiasi erdvėje apie magnetą, įeina į pietų polį ir per magneto medžiagą grįžta atgal į šiaurės polį. Taigi magnetinės jėgų linijos visuomet sudaro uždarytas kilpas. Liečiamoji linija, ištiesta bet kuriam taške tokios kreivos linijos, duoda magnetinei jėgai veikimo kryptį. Geležies dalelė slinks ir suksis arba busolės magnetinė adata suksis ir svyruos, kol nusistatys išilgai tokios liečiamosios linijos. Kada ji taip nusistatys, tai ji bus įtemptame padėjime, nes jos galus veiks dvi jėgos, atkreiptos į priešingas puses. Taigi išilgai tų jėgų linijų veikia įtempimas. Faraday'us prilygina tas linijas ištemptiems elastingiems šniūrams, arba siūlams, kurie stengiasi susitraukti. Taigi ir tos linijos susitrauktų, jeigu neveiktų tarp jų kitos jėgos, būtent, atsparos jėgos. Tos jėgos, veikdamos tarp jėgų linijų, sudaro, kad linijos išsigaubia išorės pusėje magneto atžvilgiu. Taigi skersai tų jėgų linijų veikia spaudimas. Vadinasi, magneto apylinkos erdvei susidaro ypatinga ir įtempta padėtis, kurios dėliai, būtent, įtempimo išilgai jėgų linijų ir spaudimo skersai, magnetiniame lauke reiškiasi tie veikimai, kuriuos mes vadiname magnetinėmis jėgomis. Praktiškai žiūrint, tų magnetinių jėgų veikimas darosi palyginamai be galo silpnas vietose netoli nuo magneto, bet teoretiškai, reikia manyti, kad magneto magnetinis laukas neturi ribų ir tęsiasi iki begalybės.

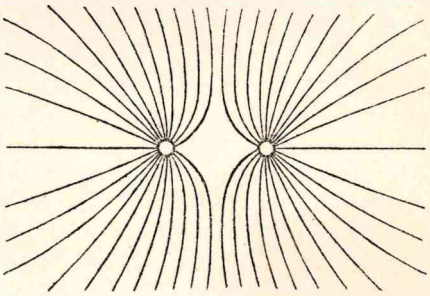


7 pieš.

Eidamas šita jėgų lauko koncepcija, Faraday'us aiškina traukos jėgas, veikiančias tarp dviejų priešingų magnetinių polių, ir atsparos jėgas, veikiančias tarp dviejų tos pačios rūšies polių. 8 ir 9 piešiniai rodo magnetinio lauko vaizdą tarp dviejų prie-



8 pieš.



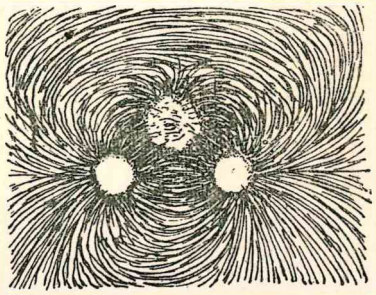
9 pieš.

šingų polių ir tarp dviejų tos pačios rūšies polių. Pirmuoju atveju jėgų linijos išeina iš šiaurės polio, arba + polio, ir įeina į — polį, arba pietų polį. Kadangi tos linijos, kaip matėme, del įtempimo stengiasi susitraukti, tai šitos pastangos rezultatą mes turime traukos jėgas tarp šiaurės ir pietų polių. Antruoju atveju (žiūr. 9 pieš.) linijos, išeinančios iš vieno ir iš kito polio del veikiančių tarp jų atsparos jėgų, stengiasi nutolti viena nuo kitos, ir mes gausime linijų vaizdą, kuris yra panašus į vandens srovių

vaizdą, kada iš dviejų vamzdžių arba kanalų galų, pastatytų vienas prieš antrą, išteka dvi priešingos vandens srovės. Iš hidrodinamikos žinome, kad tarp tokių dviejų vandens srovių veikia atsparos jėgos ir, jei vamzdžiai, iš kurių išteka abidvi srovės, judomi, tai jie ir nutolsta vienas nuo antro. Į šitą hidrodinamišką vaizdą visiškai panašus yra magnetinių jėgų laukas tarp dviejų tos pačios rūšies polių, kaip jį atvaizduoja 9 piešinys.

Kadangi magnetinės jėgų linijos išteka, taip sakant, iš šiaurės polio, tęsiasi erdvėje ir įteka į pietų polį, tai, sekant Faraday'u, kalbama apie magnetinį sriautą.

Laikydamasis tos pačios magnetinių jėgų lauko koncepcijos, Faraday'us aiškina ir magnetinės indukcijos reiškinius. 10 piešinys rodo magnetinį lauką tarp dviejų priešingų magnetinių polių, kuriame padėtas tuščiu viduriu geležies šešiakampis. Jėgų linijos, užuot ėjusios tiesiog nuo šiaurės polio į pietų polį, smarkiai atsilenkia ir eina per šešiakampio geležį, bet ne per jo vidurį. Tame vidury nėra magnetinių jėgų linijų. Magnetinės linijos įeina į šešiakampio geležį iš šiaurės polio pusės ir išeina iš pietų polio pusės. Tas parodo, kad geležies šešiakampis iš šiaurės polio pusės įgyja pietų polį, o iš pietų polio pusės įgyja šiaurės polį. Vadinasi, geležies šešiakampis magnetiniame lauke pats darosi magnetu. O tai ir bus, einant Faraday'u, magnetinė indukcija. Mūsų geležies šešiakampis yra traukos jėgų įtakoje ir jų veikimu gali būti visiškai įtrauktas tarp magnetinių polių. Iškyla dar vienas svarbus dalykas, būtent, kad magnetinės jėgų linijos lengviau pereina per geležį kaip per orą. Apskritai, geležies gabalas, padėtas magnetiniam lauke, sutraukia kiek galima daugiau jėgų linijų. Turint šitą aplinkybę galvoj, kalbama apie didesnį geležies magnetinį pralaidumą, negu oro, kitų dujų, stiklo, vandens ir t. t. Tačiau magnetinis oro įtempimas yra žymiai didesnis negu magnetinis geležies įtempimas. Šita geležies ypatybe galima pasinaudoti norint izoliuoti tą ar kitą erdvės dalį nuo magnetinių jėgų veikimo. Elektros stotis, kurioje veikia dinamo mašina, sudaro elektromagnetinį lauką. Jeigu netoli nuo tos stoties randasi magnetinė observatorija, tai tą observatoriją nuo stoties įtakos galima apsaugoti apklojus stotį iš visų pusių geležimi, arba priešingai: apkloję, sakysime, geležimi iš visų pusių galvanometrą, mes apsaugosime žemės magnetinio lauko veikimą galvanometrui, nes visos magnetinės linijos eis per geležies medžiagą.

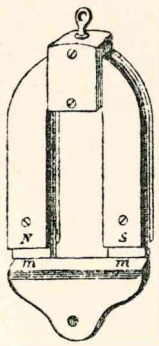


10 pieš.

Kiekvienas permanentinis magnetas per tam tikrą laiką nustoja savo magnetizmo. Jo magnetizmui palaikyti kiek galima ilgiau jisai aprūpinamas vadinama armatūra, arba inkaru, pridedant prie abiejų magneto polių gabaliukus minkštos geležies ir sujungiant juos tarp savęs iš abiejų magneto pusių stiebais arba plonomis sijomis iš minkštos geležies. Tokiomis sąlygomis magnetinis sriautas eina nuo vieno magneto polio į antrą daugiausia per geležį, taip kad jėgų linijų labai maža sklinda ore. Išorinis magneto veikimas tuo būdu yra žymiai sumažinamas arba net panaikinamas. Jeigu toje pačioje dėžėje sukraunama keletas magnetų, tai jie sudedami visuomet priešingais poliais ir prie jų abiejų galų pridedamos trumpos minkštos geležies sijos. Tuo atsargumu galima ilgoką laiką išlaikyti gerame padėjime permanentinis magnetas.

Stipresniam magnetiniam laukui gauti, labai dažnai permanentiniam magnetui priduodama pasagos formos. Šitos formos magneto abudu poliai randasi arti vienas nuo antro, ir todel laukas tų polių yra ypatingai stiprus. Kadangi, kaip jau minėjome, geležies sluogsnis apgina erdvę nuo magnetinių jėgų, tad suprantama, jog magnetizmas paprastai reiškiasi tik paviršutiniuose geležies ir plieno sluogsniuose. Taigi, įmagnetinti visiems geležies ir plieno sluogsniams permanentiniai stiprūs magnetai gaminami iš daugelio plonų plieno pasagų, kurios įmagnetintos sudedamos tos pačios rūšies poliais. Prie jų galų pritraukiamas minkštos geležies inkaras, kaip rodo 11 piešinys, kad magnetizmas būtų apsaugotas nuo išsklidimo.

Maximum-svoris, kurį dar gali pritraukti ir palaikyti permanentinis magnetas, vadinasi jo pakeliamoji jėga, kuri, apskritai, pareina nuo paties magneto svorio, bet jis yra relatyviškai didesnis lengviems magnetams negu sunkiems.



11 pieš.

Dabar pažiūrėsime, nuo ko pareina ir kaip matuojama magnetinio lauko stiprumas, arba intensingumas. Duotoje magnetinio lauko vietoje jo stiprumu vadinasi jėga dinomis, kurią laukas veikia šiaurės polio vienetą, patalpintą šitoje vietoje. Jeigu šiaurės vieneto polis randasi atokume d nuo polio, kuriame sukoncentruota magnetinė masė m, ta magnetinio lauko stiprumas, arba intensingumas, šitoje vietoje bus $+\frac{m}{d^2}$ dinų.

Iš Faraday'aus magnetinio lauko vaizdo aiškėja, kad juo daugiau duotoje magnetinio lauko vietoje pereina magnetinių linijų, juo stipresnis bus laukas, ir priešingai. Galima išreikšti magnetinio lauko stiprumas ir jėgų linijomis, kaip tai darė pats Faraday'us ir šiandien daroma elektromagnetizmo moksle. Reikia tik susitarti del to, kaip skaityti magnetines jėgų linijas, nes tai yra geometriškos linijos. Sekant Faraday'u yra nustatyta, kad per 1 kvadratinį centimetrą lauko skerspjūvio normališkai (statmeniškai) eina tik viena jėgų linija, kada mes turime lauką vieneto stiprumo arba tokį lauką, kuris veikia vienetą polį jėga, lygia 1 dinai. Jeigu lauko stiprumas yra lygus H dinų, tai išvedama, jog tada per kiekvieną kvadratinį centimetrą lauko skerspjūvio, jam statmeniškai, eina H jėgų linijų.

Aprašysime magnetinio polio, kuriame sukoncentruota magnetinė masė m, rutulį stipinu r. Tad einant Coulombo dėsniu magnetinio lauko stiprumas arba intensingumas ant rutulio paviršiaus bus $H = \frac{m}{r^2}$. Kadangi čionai jėgų linijos, išeinančios iš polio N, eina stipinais, tai jos eina normališkai per rutulio paviršių. Vadinasi, per kiekvieną rutulio paviršiaus kvadratinį centimetrą pereina $\frac{m}{r^2}$ jėgų linijų. Visas rutulio paviršius yra lygus $4 \pi r^2$. Prisilaikydami tad nurodytos konvencijos mes galime pasakyti, kad iš magnetinio polio m iš viso išeina $4 \pi r^2 . \frac{m}{r^2} = 4 \pi m$ jėgų linijų. Vadinasi, mes visuomet galime polio stiprumą išreikšti tam tikru jėgų linijų skaičiumi. Tuo būdu susekame, kad iš polio vieneto išeina $4 \pi = 12{,}56$ jėgų linijų.

Kalbant apie magnetinio lauko stiprumą įprasta jis reikšti gausais. Gausas yra lauko stiprumo vienetas, kitaip sakant, toks lauko stiprumas, kuris pasireiškia, kada duotoje lauko vietoje veikimas magnetiniam vieneto poliui yra lygus 1 dinai.

Kadangi iš tikrųjų per 1 kvadratinį cm. lauko skerspiūvio normališkai eina begalinė daugybė jėgų linijų, tad Faraday'us kalba apie jėgų vamzdelius, laikydamas vienetu tokį jėgų vamzdelį, kurio veikimas yra lygus 1 dinai.

Mes jau matėme, kad įkišus geležies gabalą į magnetinį lauką ore, gabalas įtraukia į save kuone visas jėgų linijas, einančias ore, nes jėgų linijoms lengviau pereiti per geležį, kaip per orą. Geležis tad koncentruoja arba kondensuoja jėgų linijas, ir tuo reiškiasi mūsų vadinamoji magnetinė indukcija. Vadinasi, per 1 kvadratinį centimetrą geležies skerspjūvio normališkai pereina daugiau jėgų linijų, kaip per 1 kvadratinį centimetrą ore. Šitą skaičių magnetinių jėgų linijų, kurios eina normališkai per 1 cm.^{2} geležies skerspjūvio, mes vadiname magnetinės indukcijos tankumu arba, paprastai, magnetine indukcija ir duodame jai ženklą B (tai, būtent, yra jėgų linijų skaičius, kuris eina normališkai per 1 cm.^{2} geležies). Pažymėsime ženklu H tą jėgų linijų skaičių, kuris eina normališkai per 1 cm.^{2} magnetinio lauko skerspjūvio tada, kada tame lauke nėra geležies. Tasai dydis yra ne kas kita, kaip magnetinio lauko stiprumas, arba intensingumas, ir apie šitą dydį buvo kalbama anksčiau. Santykis magnetinės

indukcijos ir magnetinio lauko stiprumo fizikoje vadinamas magnetiniu medžiagos pralaidumu (permeabilitas), kuriam visuomet duodamas ženklas μ. Taigi $\mu = \frac{B}{H}$. Vadinasi, kiekviena medžiaga, kuri indukcijos keliu gali būti įmagnetinama, turi magnetinį pralaidumą, didesnį kaip 1. Vidutinis magnetinis pralaidumas įvairios medžiagos, kurią galima įmagnetinti, yra šitoks:

	μ
Minkštas špyžius (dinamo mašinoms)	500
Minkšta kalama geležis . . . . nuo 1000 ligi	2000
Kobaltas	150
Heusler'io lydinys (Mn. Al. 2Cu)užgrūdytas . .	160
Mangano plienas (kietas, baltas)	1,5
Plieno viela fortepianams	160
Staiga atvėsintas špyžius	50
Nikelis	200
Magnetitas	4

Padedant tarp polių mažo ploto stipraus elektromagneto mažiukus įvairios medžiagos cilinderius, galima konstatuoti magnetinis aktingumas daugumai medžiagos rūšių. Medžiaga, kuri turi didesnį magnetinį pralaidumą negu 1, kaip, pavyzdžiui, geležies metalai, kobaltas, nikelis ir t. t., vadinasi paramagnetinė. Bet yra ir toki medžiaga, kurios magnetinis pralaidumas yra mažesnis kaip 1. Toki medžiaga vadinasi diamagnetinė. Skaitant, kad tuštumos magnetinis pralaidumas yra lygus 1, mes turėsime štai kokį magnetinį pralaidumą įvairioms medžiagoms, išėmus geležies metalus:

Paramagnetinė medžiaga.

Oras	1,0000004
Deguonis	1,000002
Skystas oras	1.0025
Geležies druskų skiediniai ($^1/_{10}$ grømo geležies 1 cm.^{3}) . .	1,00033

Diamagnetinė medžiaga.

Vanduo	1 — 0,00001
Bismutas	1 — 0,0002

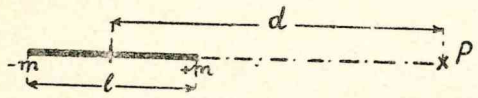
Mažiukai ir ploni paramagnetinės medžiagos cilinderiai nusistato magnetiniam lauke visuomet išilgai magnetinių linijų; bet tokie pat diamagnetinės medžiagos cilinderiai, kaip, sakysime, bismuto cilinderis, nusistato visuomet skersai magnetinio lauko todel, kad tokioje būklėje bismuto cilinderis mažiausia trukdo perėjimą magnetinių jėgų linijų nuo vieno elektromagneto polio į antrąjį.

Jei magnetinis polis turi tam tikrą plotą, tai jo stiprumas, arba intensingumas, skaitant kiekvienam 1 cm.^{2} ploto, yra vadinamas magnetinimo stiprumu, arba intensingumu. Pažymėsime šitą magnetinimo intensingumą raide I. Tad nuo 1 cm.^{2} polio išeina $4\pi I$ vienetų linijų, arba Faradayaus vienetų vamzdelių, kaip anksčiau apibrėžta. Pažymėsime magnetinio lauko stiprumą, arba intensingumą, raide H. Santykis $\frac{I}{H} = k$ vadinasi magnetinis medžiagos įspūdingumas (Susceptibilitas). Šiomis sąlygomis prie H linijų, kurios pereina per 1 cm.^{2} magnetinio lauko, prisideda dar $4\pi I$ linijos, išeinančios iš 1 cm.^{2} magnetinio polio ploto. Visas tad linijų skaičius šiuo atveju yra $H + 4\pi I$. O tas yra magnetinė indukcija B. Todel magnetinį pralaidumą mes galime išreikšti ir šitaip:

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{H + 4\pi I}{H} = 1 + \frac{4\pi I}{H} = 1 + 4\pi k, \quad \text{nes } k = \frac{I}{H}.$$

Išreikšdami tad magnetinio lauko veikimą, mes galime naudotis magnetiniu pralaidumu μ, turėdami galvoj magnetinį sriautą, arba magnetiniu įspūdingumu k, ir turėdami galvoj išorinį magneto veikimą, nustatomą geometrišku metodu.

Dabar eisime magnetinio lauko stiprumo, arba intensingumo, matuoti. Bet pirma išskaičiuosime magneto veikimą magnetiniam polio vienetui, esančiam tam tikrame atokume nuo magneto; turėsime galvoj dvi polio vieneto būkles, kurios yra pagrindinės magneto atžvilgiu.



12 pieš.

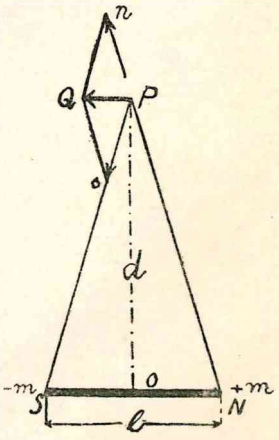
Pirmą pagrindinę būklę atvaizduoja 12 piešinys. Čia mes turime magnetą mm, ilgio l su magnetinėmis masėmis m, sukoncentruotomis jo poliuose. Taške P ant ištiestos magneto ašies randasi polio vienetas, sakysime + polio vienetas (šiaurės polio vienetas) atokume d nuo magneto vidurio. Polio vienetą taške P veikia dvi jėgos: atsparos jėga iš magneto šiaurės polio + m ir traukos jėga iš magneto pietų polio — m. Einant Coulombo dėsniu veikianti iš magneto polio + m vienetą polį taške P jėga $f_1 = + \frac{m}{\left(d - \frac{l}{2}\right)^2}$. Tai ir bus magnetinio lauko stiprumas taške P, kuris pareina nuo magneto šiaurės polio m.

Taip pat magnetinio lauko stiprumas taške P, kuris pareina nuo magneto polio — m, bus $f_2 = - \frac{m}{\left(d + \frac{l}{2}\right)^2}$. Tad magnetinio lauko stiprumas taške P, kuris pareina nuo abiejų magneto polių, bus:

$$F = f_1 + f_2 = \frac{m}{\left(d - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{m}{\left(d + \frac{l}{2}\right)^2} =$$

$$= \frac{m\left(d + \frac{l}{2}\right)^2 - m\left(d - \frac{l}{2}\right)^2}{\left(d - \frac{l}{2}\right)^2 \left(d + \frac{l}{2}\right)^2} = \frac{2\,m\,l\,d}{\left(d^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2} = \frac{2\,m\,l\,d}{d^4 - \frac{d^2 l^2}{2} + \frac{l^4}{16}}.$$

Sakysime, kad magneto ilgis l yra mažas dydis sulyginus su d, tai yra su atokumu polio vieneto taške P nuo magneto vidurio. Tad paskutinės lygties vardiklyje nariai $\frac{d^2 l^2}{2}$ ir $\frac{l^4}{16}$ galima atmesti kaipo labai maži dydžiai sulyginus su d^4. Tada turėsime: $F = \frac{2\,m\,l\,d}{d^4} = \frac{2\,m\,l}{d^3}$. Sandauga iš magnetinio polio masės m į magneto ilgį l vadinama magnetiniu momentu ir tai sandaugai mes davėme jau ženklą M. Tad magnetinis lauko stiprumas taške P yra $F = \frac{2\,M}{d^3}$.



13 pieš.

Aprašyta čia magnetinio polio būklė magneto atžvilgiu vadinasi ašies būklė. Antroji pagrindinė magnetinio polio būklė magneto atžvilgiu vadinasi pusiaujo būklė. Šitą būklę atvaizduoja 13 piešinys. Čia mes turime magnetą NS, ilgio l su magnetinėmis masėmis + m ir — m, sukoncentruotomis magneto poliuose. Polio vienetas (+) yra taške P ant linijos OP, ištiestos per vidurį magneto ašies statmeniškai jai.

Tegu OP = d ir d yra didelis sulyginus su magneto ilgiu l. Ir čia polio vienetą taške P veikia dvi lygios jėgos: atsparos jėga Pn išilgai linijos NP, atkreipta nuo šiaurės polio N, ir tokio pat didumo traukos jėga Ps išilgai linijos SP, atkreipta į pietų polį S. Pirmoji jėga $f_1 = Pn = \frac{m}{NP^2} = \frac{m}{d^2 + \frac{l^2}{4}}$, nes iš 13 piešinio aišku, kad $NP^2 = d^2 + \frac{l^2}{4}$.

Tokio pat didumo yra jėga Ps, tik turi ženklą —. Eidami paralelogramo dėsniu pakeisime šitas dvi jėgas atstojamąja jėga, kuri čia bus išreikšta linija PQ, statmeniškai linijai PO ir lygiagrečiai magneto ašiai NS. Čia ta atstojamoji jėga PQ veikia iš dešinės į kairę pusę. Iš 13 piešinio aišku, kad trikampiai PnQ ir SPN yra panašūs ir todel $\frac{PQ}{f_1} = \frac{l}{PN}$ arba atstojamoji jėga $F = PQ = \frac{f_1 l}{PN}$. Pakeisdami čionai f_1 ir PN augščiau duotomis jų vertėmis mes gausime: $F = \frac{m \cdot l}{\left(d^2 + \frac{l^2}{4}\right)\left(d^2 + \frac{l^2}{4}\right)^{1/2}} = \frac{ml}{\left(d^2 + \frac{l^2}{4}\right)^{3/2}}$.

Binomas $\left(d^2 + \frac{l^2}{4}\right)^{3/2} = d^3 + \frac{3}{2} d \frac{l^2}{4} + \frac{3}{4} d^{-1} \frac{l^4}{16} + \ldots$ Kadangi mes esame pasakę, kad l yra mažas dydis sulyginus su d, tai šito binomo visus kitus narius, išėmus d^3, galime atmesti, nes jie bus labai maži sulyginus su d^3. Ir mes gausime atstojamajai jėgai $F = \frac{ml}{d^3} = \frac{M}{d^3}$, nes ml yra magnetinis momentas. Vadinasi, magnetinio lauko stiprumas pusiaujo būklėje yra 2 syk mažesnis kaip ašies būklėje. Šita išvada remiasi Coulombo dėsniu; jį galime patikrinti. Geriausias bus patikrinimas, jeigu, išmatavę magnetinio lauko stiprumą abiejose būklėse galėsime parodyti, kad santykis magnetinių laukų stiprumų tokiomis sąlygomis yra lygus 2. Tai yra padaręs Gausas, ir galutinai konstatavęs Coulombo dėsnio tikrumą.

Imsime dabar dviejų magnetinių laukų stiprumus lyginti. Jėga, veikianti magnetinį polį m lauko stiprumo H, yra lygi mH. Išmatuosime tą jėgą vienam laukui stiprumo H_1 ir kitam laukui stiprumo H_2. Ir mes turėsime:

$$F_1 = m\ H_1$$
$$F_2 = m\ H_2$$

Iš kur išeina $\frac{H_1}{H^2} = \frac{F_1}{F^2}$. Tuo būdu nustatysime santykį tarp dviejų laukų stiprumų. Jėgas F_1 ir F_2 mes galime išmatuoti įvairiais būdais, būtent: 1) kompensuodami sukamąjį momentą, kuris veikia pakabintą ant plonos vielos magnetą magnetiniam lanke H, pakabinimo vielos užsukimu; 2) nustatydami periodą T pakabinto ant vielos magneto vibracijų, arba švytavimų, magnetiniam lauke H; 3) matuodami atlenkimą pakabinto ant vielos magneto magnetiniam lauke H kitu magnetu.

Eidami pirmuoju metodu, pakabinsime magnetą ant plonos vielos (geriausia ant kvarco vielos) ir nustatysime tą magnetą visų pirma taip, kad jo ašis būtų išilgai matuojamo magnetinio lauko jėgų linijų ir kad nebūtų jokio pakabinimo siūlo, sakysime, kvarco užsukimo. Vienas galas kvarco siūlo prijungtas prie magneto vidurio, o kitas galas prie sraigto su galvele, padalinta į gradusus. Šitos galvelės pagalba užsuksime dabar kvarco siūlą tiek, kad lengvas magnetas atsilenktų iš savo padėties išilgai lauko linijų, sakysime, kampu φ. Tada mes galėsime išskaičiuoti pakabinimo siūlo užsukimą x gradusais iš kampo φ ir iš to kampo α, kuriuo pasukta sraigto galvelė, kad magnetas būtų atlenktas kampu φ iš jo pusiausvyros būklės ($x = \alpha - \varphi$). Mes tada turėsime tokį santykį: $x = k\ MH \sin \varphi$. Čia k yra tam tikra konstanta, kuri pareina nuo pakabinimo vielos medžiagos. Atlikus tokį eksperimentą viename lauke H, ir kitam lauke H_2 su tuo pačiu lengvu magnetu mes turėsime:

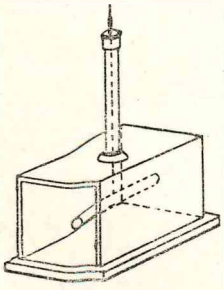
$$x_1 = k\ MH_1 \sin \varphi_1$$
$$x_2 = k\ MH_2 \sin \varphi_2$$

Iš to eina $\frac{x_1}{x_2} = \frac{H_1 \sin \varphi_1}{H_2 \sin \varphi_2}$ arba $\frac{H_1}{H_2} = \frac{x_1}{x_2} \cdot \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}$. Galima abiejais atvejais užsukti pakabinimo siūlą taip, kad magnetas vienu ir antru atveju atsilenktų iš savo pusiausvyros būklės tuo pačiu kampu φ. Tada santykis tarp dviejų magnetinių laukų stiprumų bus: $\frac{H_1}{H_2} = \frac{x_1}{x_2}$.

Antras metodas dviejų magnetinių laukų stiprumams palyginti yra tas, kad lengvas magnetas pakabinamas ant siūlo taip, kad jo ašis randasi išilgai matuojamo magneto lauko jėgų linijų. Atlenkus magnetą iš šitos būklės nedideliu kampu, jis ims švytuoti, nes jį veiks atstatomasai jėgų poris MH sin φ, jeigu magnetas atlenktas iš savo pusiausvyros būklės kampu φ. M čia reiškia paimto magneto momentą, o H matuojamo magnetinio lauko stiprumą. Mažesniems atlenkimo kampams galima sinusą pakeisti kampu ir tada atstatomasai jėgų poris bus išreikštas dydžiu MH φ. Vadinasi, atstatomasai jėgų poris bus proporcingas atlenkimo kampui φ ir bus atkreiptas į magneto pusiausvyros būklę. Tokiomis sąlygomis MH $\varphi = -$ I. α. Čia I reiškia paimto magneto inercijos momentą, o α švytavimų kampinį greitėjimą (žiūr. Mechanikos 84 ir 85 pusl.). Šiuo atveju turėsime kampinį harmoningą judėjimą ir to judėjimo periodas T, kaip mes žinome, bus išreikštas formula $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}}$, jegu mes sutiksime, kad atstatomasai jėgų poris del pakabinimo siūlo užsukimo yra labai mažas sulyginti su magnetiniu atstatomuoju jėgų poriu. Kada to nėra, tai veikia didesnis atstatomasai jėgų poris, būtent: MH $(1 + \vartheta)$, kur ϑ reiškia santykį tarp magnetinės atstatomosios jėgos ir elastingumo atstatomosios jėgos. Inercijos momentas I lengvo cilindrinio magneto yra $m\left(\frac{r^2}{4} + \frac{l^2}{12}\right)$. Čia m reiškia magneto masę, r cilinderio stipiną ir l magneto ilgį. Taigi nustačius tam pačiam magnetui švytavimo periodą lauke stiprumo H_1 ir lauke stiprumo H_2 mes turėsime:

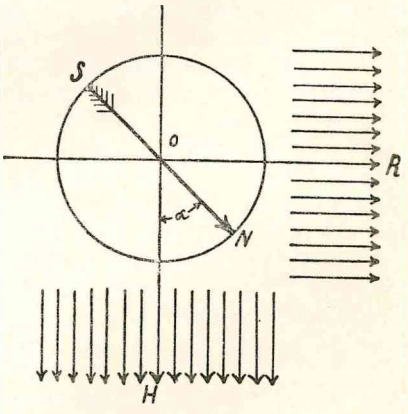
$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{M H_1}} \text{ ir } T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{M H_2}}, \text{ iš to eina } \frac{H_2}{H^1} = \frac{T_1^2}{T_2^2}.$$

14 piešinys atvaizduoja paprastą aparatą, kuriuo sekami aprašyti čia magneto švytavimai. Mes čia turime vertikalinį stiklo vamzdį, uždengtą iš viršaus disku, padalintu į gradusus, per kurį eina sraigtas su galvele, neparodyta piešiny. Sraigtas sujungtas su pakabinimo siūlu, kurio kitas galas prijungtas prie magneto vidurio. Magnetas imamas lengvas cilinderio pavidalu ir, kiek augščiau magneto (arba kiek žemiau jo), prie siūlo prijungtas lengvas plokščias veidrodukas, kad galima būtų sekti švytavimai žiūronu su skala. Kad būtų pašalinta kenksminga oro srovių įtaka magneto švytavimams, magnetas padėtas į stiklo dėžę, kaip rodo 14 piešinys.



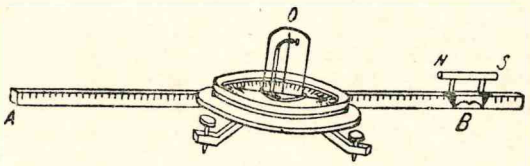
14 pieš.

Trečiojo dviejų magnetinių laukų stiprumo palyginimo metodo esmę atvaizduoja 15 piešinys. Mas čia turime du laukus stiprumų H ir R, statmeniškai vienas antram, ir abudu tie laukai tuo pačiu laiku veikia tą pačią magnetinę adatą (tą pačią magnetinę busolę). Šiomis sąlygomis magnetinė adata nusistato kampu α



15 pieš.

atžvilgiu lauko H linijų ir kampu $90^0 - \alpha$ atžvilgiu lauko R linijų. Sukamasai magnetinių jėgų poris, kuris stengiasi nustatyti adatą NS paraleliškai linijoms lauko H, bus čia $L_1 = MH \sin \alpha$, o sukamasai momentas, kuris stengiasi nustatyti tą pačią adatą paraleliškai linijoms lauko R, bus $L_2 = MR \sin (90^0 - \alpha) = MR \cos \alpha$. Kadangi, atsilenkus kampu α, magnetinė adata NS pasiekia pusiausvyrą, tai tie du sukamieji momentai yra lygūs. Vadinasi, $MH \sin \alpha = MR \cos \alpha$. Iš to eina $\frac{R}{H} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$. Taigi, jeigu magnetinė adata, padėta lauke stiprumo H išilgai to lauko linijų bus atlenkta kampu α kitu lauku R, veikiančiu statmeniškai pirmajam laukui, tai šito kampo tangentė duos mums santykį tarp laukų R ir H stiprumų.



16 pieš.

16 piešinys atvaizduoja paprastą aparatą, kuriuo galima sekti magnetinės adatos atlenkimus dviejuose laukuose stipumų H_1 ir H_2. Mes čia turime lengvą adatą, pakabintą ant siūlo (šilko arba kvarco siūlo), kuri gali svyruoti išilgai disko, padalinto į gradusus. Ant to disko mes atskaitysime adatos atsilenkimą (aišku, kad vietoje tos adatos galima paimti ir paprastas kompasas). Diskas trimis kojomis pastatomas ant lygaus pagrindo, taip kad siūlas būtų ištiestas vertikališkai ir adata užimtų gulsčią būklę. Apačioje tas diskas sujungtas su skala AB, kuri nustatoma visuomet statmeniškai tam laukui, kuris veikia adatą. Kad būtų pašalinta kenksmingų oro srovių įtaka, adata, lygiai kaip ir pakabinimo siūlas, padėta po stiklais. Visas aparatas iš pradžios sutvarkomas taip, kad magnetinė adata nusistatytų paraleliškai magnetinio lauko linijoms stiprumo H_1. Skala AB pasukama taip, kad ji užimtų statmenišką būklę lauko H_1 linijų atžvilgiu. Nustačius atskaitomą nulinę adatos būklę ant graduoto disko, imamas magnetas NS ir padedamas ant skalos, sakysime, padėtyje B. Čia skalos padalinimas B atatinka magneto NS viduriui. Tasai magnetas sudaro lauką stiprumo R statmeniškai laukui H_1 ir, vadinasi, atlenkia adatą kampu α_1. Ir mes turime: $\frac{R}{H_1} = \operatorname{tg} \alpha_1$.

Toks pat eksperimentas padaromas padėjus, kaip jau aprašyta, magnetinę adatą kitam magnetiniame lauke stiprumo H_2 ir atlenkiant tą adatą tuo pačiu magnetu NS. Jeigu antrame lauke atlenkimo kampas bus L_2, tad mes turėsime: $\frac{R}{H_2} = \operatorname{tg} \alpha_2$. Padalię pirmąją lygtį į antrąją, mes gausime: $\frac{H_2}{H_1} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2}$.

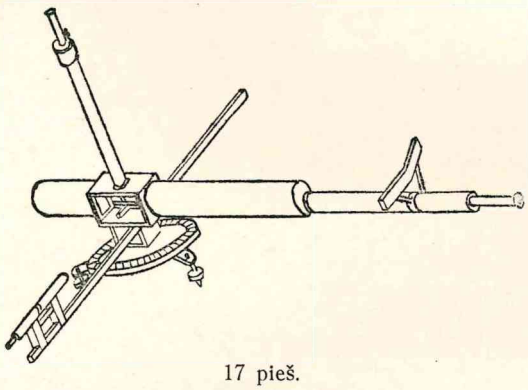
Pridursime dar, kad aprašytieji metodai magnetiniams laukams palyginti veikia tik, sulyginti, silpniems laukams, kurie nekeičia žymiai paimto magneto momento. Stiprūs magnetiniai laukai keičia šitą momentą per indukciją ir todel jiems matuoti vartojami kiti metodai, apie kuriuos bus kalbama Elektromagnetizmo skyriuje.

Mūsų aprašyti metodai magnetinių laukų stiprumui sulyginti priklauso dideliam Vokietijos matematikui ir fizikui Gausui, kuris daugiausia yra pasidarbavęs magnetines jėgas tirdamas ir sutvarkydamas visas tas žinias, kurias mes šiandien turime apie magnetizmą.

Kombinuojant antrąjį ir trečiąjį metodus, pagal Gausą, galima surasti absoliutinė reikšmė magnetinio lauko stiprumui ir paimto magneto momentui. Ypač svarbu fizikos laboratorijoms žinoti žemės magnetinio lauko stiprumas, nes dažnai tenka turėti darbo su tokiais instrumentais, kaip, pav., tangens-galvanometras, kurių veikimas pareina nuo žemės magnetinės jėgos gulsčios komponentos H, nekalbant jau apie tai, kad šito dydžio išmatavimas yra, apskritai, labai svarbus žemės magnetizmui pažinti. Aprašysime tad žinomą Gauso metodą žemės magnetizmo gulsčiai komponentai H ir magneto magnetiniam momentui M nustatyti. Šiam reikalui galime pasinaudoti aparatu, kurį

VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETO BIBLIOTEKA

atvaizduoja 17 piešinys ir kuris vadinasi magnetometras. Čia mes turime stiklo dėžę su pakabintu joje ant šilko arba kvarco siūlo magnetu. Siūlas yra įleistas į stiklo vamzdį, viršum kurio turime sraigtą, kuriuo galime atsukti užsuktą siūlą. Ant apatinio siūlo galo yra lengvos ienos, į kurias įdedamas magnetas. Imamas lengvas magnetas dažniausiai tuščio plieno cilinderio pavidalu. Su ienomis viršum magneto sujungtas plokščias veidrodėlis, į kurį atkreiptas žiūronas su skala, kaip parodyta 17 piešiny iš dešinės pusės, kad galima būtų sekti magneto švytavimus, arba osciliacijas, Gauso metodu, aprašytu Šviesos skyriaus 2 §. Skersai dėžės randasi skala, o ant tos skalos įvairiuose atokumuose nuo pakabinto dėžėje magneto vidurio galima pastatyti nedidelis suolelis ir uždėti ant jo magnetas (žiūr. 17 pieš. iš kairės pusės). Skala padėta taip, kad jos vidurys sutampa su pakabinto ant siūlo magneto viduriu (tiksliau sakant, yra ant tos pačios vertikalinės linijos). Iš pradžios nustatomas pakabinto magneto momento M osciliacijų periodas T. Tam tikslui magnetas įdedamas į ienas stiklo dėžėje ir stiklo dėžė sukama apie vertikalinę ašį tol, kol magnetas nusistatys išilgai žemės magnetizmo gulsčios komponentos H, kitaip sakant, kol magnetas nusistatys magnetinio meridiano plokštumoje, apie kurią bus kalbama kitame paragrafe. Nustatant taip magnetą reikia pasirūpinti, kad siūlas, ant kurio jis kabo, nebūtų užsuktas. Tai galima atsiekti įdėjus į ienas stiklo dėžėje plieno cilinderį tokio pat ilgio ir tokio pat svorio, kaip paimtas magnetas, ir nustačius šitą cilinderį magnetinio meridiano plokštumoje. Išėmus iš ienų plieno cilinderį ir pakeitus jį magnetu, magnetas irgi bus magnetinio meridiano plokštumoje. Priartinę prie šito magneto kitą magnetą mes jį atlenksime, ir jis ims švytuoti. Švytavimai sekami žiūronu ir skala, skaitant perėjimus skalos nulinio bruožo per žiūrono siūlų susikirtimą ir registruojant laiką visos eilės tokių perėjimų. Taip išskaičiuojamas švytavimų periodas, kuris, kaip jau matėme anksčiau, išreiškiamas formula:



17 pieš.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH}}$. Čia I reiškia paimto magneto inercijos momentą, kuris galima išskaičiuoti arba bandymu surasti, kaip aprašyta Skysčių ir Dujų skyriaus 2 §, 11 puslap. Šitoje formuloje buvo kreipiama dėmesio tik į magnetinių jėgų atstatomąjį momentą MH ir nesidomėta sukto siūlo elastingų jėgų atstatomuoju momentu. Reikalui atsiradus galima padaryti ir šita pataisa, kaip anksčiau parodyta. Iš šitos formulos mes turime:

$$MH = \frac{4\pi^2 I}{T^2}. \quad (1)$$

Nustačius švytavimų periodą T magnetas išimamas iš ienų stiklinėje dėžėje ir dedamas ant suolelio ant skalos, o į ienas stiklinėje dėžėje įdedamas kitas lengvas magnetas (magnetinė adata). Iš pradžios adata nustatoma magnetinio meridiano plokštumoje ir skala be magneto pasukama apie vertikalinę ašį taip, kad ji būtų statmeniškai magnetinės adatos ašiai. Skala sukama kartu su graduotu disku, kuris parodytas 17 piešiny apačioje, ir, nustačius skalą statmeniškai, ant suolelio uždedamas magnetas. Adata bus atlenkta iš magnetinio meridiano plokštumos, kaip rodo 18 piešinys, kur ScN reiškia atlenkiantį magnetą, SDN atlenktą adatą ir punktyru nupiešta linija reiškia magnetinio meridiano kryptį. Atlenkimo kampas φ nustatomas žiūronu ir skala einant Gauso metodu. Kadangi mes čia turime ašinę būklę magnetinės adatos polių atlenkiančio ScN magneto atžvilgiu, tai santykis magneto ScN lauko stiprumo R ir žemės lauko stiprumo H čionai bus $\frac{R}{H} = \text{tg}\ \varphi$, arba $\frac{2M}{r^3 H} = \text{tg}\ \varphi$, nes šituo

atveju R yra lygus $\frac{2M}{r^3}$. Čia r reiškia atokumą atlenkiančiam magneto viduriui nuo atlenktos adatos vidurio, kuris atokumas išskaičiuojamas ant skalos. Taigi, iš šitos lygties eina $\frac{M}{H} = \frac{1}{2} r^3 \operatorname{tg} \varphi$ (2). Padalinus lygtį (1) į lygtį (2) mes turėsime: $H^2 = \frac{8 \pi^2 I}{T^2 r^3 \operatorname{tg} \varphi}$ arba $H = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{2 I}{r^3 \operatorname{tg} \varphi}}$.

18 pieš.

19 pieš.

Padalinus lygtį (1) lygčia (2) mes gausime:

$$M^2 = \frac{2 \pi^2 I r^3 \operatorname{tg} \varphi}{T^2} \text{ arba } M = \frac{\pi}{T} \sqrt{2 I r^3 \operatorname{tg} \varphi}$$

Kombinuodami tad švytavimų ir atlenkimų metodus mes gauname dvi lygtis su dviem ieškiniais H ir M ir todel galime surasti ir gulsčią komponentą H ir magnetinį momentą M.

Nurodysime čia dar kitą atlenkimo būdą, kuris praktikoje vartojamas dažniau. Skala su magnetu sukama apie magnetinės adatos centrą tol, kol magneto ScN ir magnetinės adatos ašys bus statmenos viena kitai. Tokią būklę atvaizduoja 19 piešinys, ir iš šito piešinio aišku, kad $\frac{R}{H} = \sin \varphi$, jeigu, pasiekus tokią būklę, magnetinė adata bus atlenkta iš magnetinio meridiano plokštumos kampu φ. Bet $R = \frac{2M}{r^3}$. Taigi $\frac{2 M}{r^3 H} = \sin \varphi$ ir $\frac{M}{H} = \frac{1}{2} r^3 \sin \varphi$ (3). Iš (1) ir šitos (3) lygties gasime:

$$H = \frac{2\pi}{T} \sqrt{\frac{2I}{r^3 \sin \varphi}}.$$

Vartojant šitą paskutinį būdą atlenkimui nustatyti, nustačius magnetinę adatą magnetinio meridiano plokštumoje, žiūronu atskaitoma būklė magnetinės adatos ant žiūrono skalos ir tuo pačiu laiku atskaitomas parodymas graduoto disko aparato apačioje verniero pagalba. Skala patalpinta skersai ir statmeniškai žiūrono ašiai, ir atliekant nurodytus čia ant jos atskaitymus nėra atlenkiančio magneto. Uždėjus ant suolelio atlenkiantį magnetą, adata bus atlenkta ir jos būklė ant žiūrono skalos pasidarys kitokia. Dabar žiūronas kartu su stiklo dėže, kurioje kaba magnetinė adata, kartu su graduotu disku sukami tol (į tą ar kitą pusę), kol mes gausime ant žiūrono skalos tokią būklę magnetinės adatos, kaip buvo iš pradžios. Tokią būklę mes gausime tik tada, kada atlenkiančio magneto ScN ašis ir magnetinės adatos ašis bus statmeniškai viena antrai. Atskaičius graduoto disko parodymą ir atėmus nuo šito parodymo tą parodymą, kuris buvo atskaitytas be atlenkiančio magneto ant skalos, mes surasime adatos atsilenkimo kampą φ.

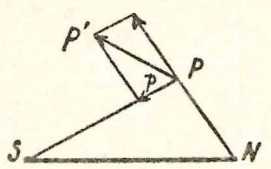
Reikia tačiau atsiminti, kad suolelio centras arba ženklas sujungtas su tuo centru ne visuomet sutampa su atlenkiančio magneto centru, taip kad atskaitytas ant skalos atokumas r nuo atlenkiančio magneto centro ligi adatos centro nėra tikras atokumas. Kad eliminuotume klaidą del šitos priežasties, turime, padėję magnetą ant skalos,

sakysime, kairėje magnetinės adatos pusėje, atskaityti adatos atsilenkimą tam tikroje atlenkiančio magneto būklėje, ir apgręžti tą magnetą. Be to, reikia turėti galvoj, kad graduoto disko vidurys ir magnetinės adatos centras ne visuomet yra ant tos pačios vertikalinės linijos. Del šios aplinkybės galima padaryti klaidą; jai išvengti magneto abiem galais atlenkimas nustatomas iš pradžios vienoje adatos pusėje, o paskui, tokiam pat atokume nuo adatos, antroje adatos pusės, ir iš šitų keturių atlenkimų imamas aritmetinis vidurys. Bet formula $\frac{M}{H} = \frac{1}{2} r^3 \sin \varphi$ (visai) tinka tik tada, kada magneto poliai laikosi pačiuose magneto galuose, ir kada magnetizmo padalinimas magnete yra visiškai simetriškas. Iš tikrųjų tokių salygų mes niekuomet neturime, nes, kaip žinome, magneto poliai dažniausiai yra atokume $^1/_{12}$ magneto ilgio nuo magneto galo. Pataisyta formula, kuri geriau atatinka tikrenybei, atrodo šitaip: $\frac{M}{H} = \frac{1}{2} \frac{r^3 \sin \varphi}{(1 + \frac{P}{r^2})}$

Čia P yra tam tikras dydis, kuris pareina nuo magnetizmo padalinimo išilgai magneto.

Kad šitas dydis P būtų eliminuotas, galima sekti magnetinės adatos atlenkimus, patalpinus atlenkiantį magnetą iš pradžios atokume r_1 nuo adatos, o paskui atokume r_2. Mes tada turėsime du atlenkimo kampus φ_1 ir φ_2 ir dvi lygtis, iš kurių eliminuojant P gausime: $\frac{M}{H} = \frac{r^5_1 \sin \varphi_1 - r^5_2 \sin \varphi_2}{2 (r2_1 - r2_2)}$. Dažniausiai imami atokumai $r_1 = 30$ cm. ir $r_2 = 40$ cm.

Šitas metodas gulsčiai žemės magnetizmo komponentai H surasti duoda labai tikslių rezultatų ligi 5 decimalės. Tais atvejais, kur didelis tikslumas nereikalingas, galima nustatyti šita gulsčia komponenta H magnetometru, kurį atvaizduoja 16 piešinys, suradus magneto osciliacijų periodą T (padėjus lengvą magnetą vietoje parodytos 16 piešiny adatos) ir paskui nustačius magnetinės adatos atlenkimą paimtu magnetu. Kauno geografinėje platumoje žemės magnetizmo gulsčia komponenta H yra apie 0,18 dinų.



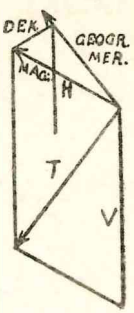
20 pieš.

20 piešinys rodo, kaip geometriškos konstrukcijos keliu galima surasti relatyvinis lauko stiprumas ir jo kryptis taške P magneto NS apylinkoje. Taškas P sujungiamas tiesiomis linijomis su magneto poliais N ir S. Ištiesus liniją NP nuo taško P atidedamas ilgis bet kuriais vienetais, proporcingas magnetinei jėgai tarp N ir P, vadinasi, proporcingas $\frac{1}{(P\ N)^2}$. Taip pat iš taško P į pusę polio S atidedamas ilgis, proporcingas magnetinei jėgai tarp P ir S, t. y. proporcingas $\frac{1}{(P\ S)^2}$. Atrasdami šitoms dviem magnetinėms jėgoms atstovaujamąją, eidami paralelogramo dėsniu, mes gausime liniją PP^1, kuri bus proporcinga lauko stiprumui taške P ir kurios kryptis bus jėgų linijos kryptis toje vietoje. Aprašytą čia konstrukcija galima atkartoti pradedant tašku P' ir t. t. ir tada gausime laužtą liniją, kuri juo arčiau bus nuo kreivosios linijos jėgų, juo daugiau joje bus atkarpų. Taigi geometrijos konstrukcijos keliu galima konstruoti magnetinis laukas bet kurio magneto apylinkoje.

2 §. Žemės magnetizmo elementai: deklinacija, inklinacija ir intensingumas. Dieninės, metinės ir šimtmetinės žemės magnetizmo elementų variacijos. Magnetiniai žemėlapiai. Magnetinis potencialas. Gauso žemės magnetizmo teorija. Jūrininkų kompasas.

Darant magnetinius ir elektriškus matavimus įvairiais instrumentais reikia žinoti žemės magnetinės jėgos kryptis ir intensingumas; tai esame mate 1 § ir dar pamatysime toliau. Magnetinės žemės jėgos krypties ir intensingumo nustatymas įvairiose žemės vietose yra reikalingas ir tam, kad gautume aiškų vaizdą žemės magnetinių jėgų padalinimo ir veikimo ir susektume tikrą žemės magnetizmo priežastį. Nuo senų laikų įvairiose žemės vietose veikia magnetinės observatorijos, kurios be paliovos tiria žemės magnetinių jėgų veikimą. Šiandien jau surinkta daug medžiagos, ir jos dėka mes turime žemės magnetinio lauko aiškų vaizdą.

Jau esame minėję (1 §), kad magnetas, pakabintas ant siūlo už jo masės centro, nusistato išilgai žemės magnetinės jėgos šiaurės poliu žemyn į šiaurę nuo pusiaujo ir pietų poliu žemyn į pietus nuo pusiaujo; tad pakabinę magnetą už jo masės centro mes visuomet galime surasti, kuria kryptimi veikia žemės magnetinė jėga duotoje žemės vietoje. Šita kryptis sudaro tam tikrą kampą su akiračiu (gulsčia linija), ir tas kampas vadinasi *inklinacija*. Tose žemės vietose, kur laikosi žemės magnetiniai poliai, inklinacija yra lygi 90°, vadinasi, ten magnetas nusistato vertikališkai. Ant magnetinio pusiaujo (mes toliau pamatysime, kas yra magnetinis pusiaujis) inklinacija yra lygi 0, t. y. magnetas nusistato gulsčiai. Tarp magnetinio pusiaujo ir magnetinio polio inklinacijos dydis yra tarp 0 ir 90°, pavyzdžiui, Kaune inklinacija yra apie 72°. 21 piešiny linija T duoda magnetinės jėgos kryptį. Šita jėga T galima pakeisti dviem komponentomis; vertikaline V ir gulščia H. Iš to, kas aukščiau pasakyta, aišku, kad inklinacija yra kampas tarp linijų T ir H.



21 pieš.

Inklinaciją gangreit tuo pačiu metu buvo suradęs vokietis Hartmanas Nürenberge ir anglas Normanas Londone (1576 metais). Normanas turėjo mechanišką dirbtuvę, kurioje jis gamino įvairius instrumentus ir tarp ko kita kompasus. Jis pastebėjo, kad jo paruoštos kompasams magnetinės adatos, parėmus jas jų masės centre, niekuomet nenusistato gulsčiai, bet visuomet šiaurės poliu kiek žemyn, o pietų poliu kiek aukštyn. Jisai tad, norėdamas gauti gulsčią adatos padėtį, darė štai ką: arba sutrumpindavo adatos šiaurės pusę, nupiaudamas adatos galą, arba priedine mase sunkindavo adatos pietų pusę. Stengdamasis šitą faktą išaiškinti, spėjo, kad dalykas pareinąs nuo to, kad adatos šiaurės polis, į šiaurę nuo žemės pusiaujo, traukiamas žemyn, ir jis šitam spėjimui patikrinti pirmutinis padirbo diską, padalintą į gradusus. Pastatęs diską vertikališkai ir užmovęs magnetinę adatą ant ašies, einančios per disko ir per adatos masės centrą, Normanas konstatavo, kad adata nusistatė tam tikru kampu del gulsčios linijos. Taigi jis pirmutinis padirbo inklinatorių ir atskaitė inklinaciją.

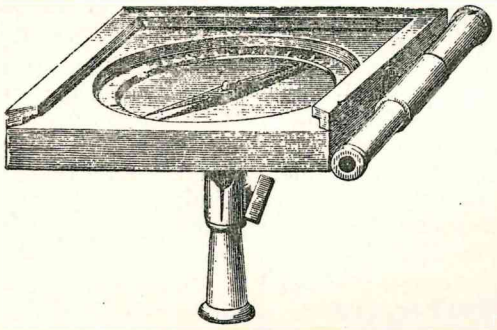
Ir šiandien dar dažnai manoma, kad kompaso adata šiaurės poliu visuomet rodo į žemės šiaurės polį ir pietų poliu į žemės pietų polį, kada ji paremta taip, kad gali svyruoti tik gulsčioje plokštumoje. Taigi manoma, kad taip paremta pasvyravus nusistato geografinio meridiano plokštumoje. Bet jau pirmutinis magnetinių jėgų tyrinėtojas, Williamas Gilbertas, žinojo, kad magnetinės adatos šiaurės polis nerodo tiesiog į geografinį šiaurės polį, bet yra kiek atsilenkęs į vakarus arba į rytus nuo to geografinio žemės polio. Tas magnetinės adatos ašies nesutapimas su geografiško meridiano linija buvo pirmąsyk jūrininkų pastebėtas dar XIII am. o Kolumbo buvo aiškiai konstatuotas 1492 metais pirmoje jo Amerikos kelionėje. Jeigu magnetinė adata paremta taip, kaip kompase, tai yra kad ji gali svyruoti tik gulsčioje plokštumoje, tada ją veikia tik žemės gulsčia komponenta H (žiūr. 21 pieš.). Kompaso adata, pasvyravus nusistato išilgai linijos H, kuri sudaro tam tikrą kampą su linija G, patiekiančia geografinio meridiano kryptį. Šitas kampas vadinasi *deklinacija*. Vertikalinė plokštuma, ištiesta

per meridiano liniją G, vadinasi geografinio meridiano plokštuma. Taip pat vertikalinė plokštuma, ištiesta per liniją H, vadinasi magnetinio meridiano plokštuma. Tad magnetinė deklinacija yra kampas, kurį sudaro duotoje žemės vietoje magnetinio meridiano plokštuma su geografinio meridiano plokštuma. Kadangi adatos šiaurės galas ant žemės vienur bus atsilenkęs į vakarus nuo žemės geografinio polio, o kitur į rytus, tai deklinacija būna vakarų arba rytų.

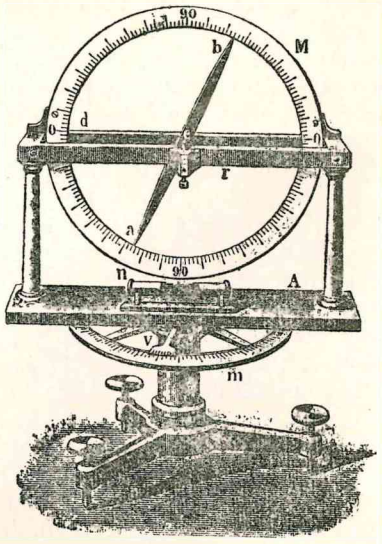
Pažymėti čia trys dydžiai: inklinacija, deklinacija ir magnetinės jėgos intensingumas (žiūr. 21 pieš. linija T), yra vadinami žemės magnetizmo elementais; nustatę tuos tris elementus toje ar kitoje žemės vietoje, mes gausime aiškų supratimą apie žemės magnetinį lauką toje vietoje.

Praktikos atžvilgiu, turint galvoj tą svarbią rolę, kurią vaidina mums jūrininkystė, visų svarbiausias tų trijų elementų bus deklinacija, nes kompasas garlaiviui tik tada gali būti tikruoju kelrodžiu, kada yra žinoma deklinacija įvairiose žemės vietose.

Nežinodami deklinacijos ir manydami, kad kompaso adatos šiaurės polis rodąs tiesiai į geografinį polį, mes galime atsidurti ne ten, kur mums reikia, kaip tas atsitiko Kolumbui. Pirmiausia, tad, aprašysime čia labai paprastą aparatą, kuriuo galima surasti deklinacija. Jis yra paprastas kompasas su graduotu disku (žiūr. 22 pieš.), viršum kurio svyruoja magnetinė adata, aprūpintas žiūronu, kaip rodo 22 piešinys. Be to, reikia dar turėti teodolitas, kuriuo galima surasti geografinio meridiano linija, nustatant, sakysime, teodolito žiūroną į saulės centrą 12 valandą vietinio laiko dienos metu. Vertikalinė plokštuma, ištiesta per saulės centrą nurodytoje saulės būklėje, bus geografinio meridiano plokštuma. Ji perkirs akiratį išilgai meridiano linijos. Mes galime fiksuoti kokį nors objektą, pav., tolimo namo



22 pieš.



23 pieš.

kaminą arba medžio viršūnę, kuri pietumis randasi kaip tik ant vertikalinės linijos, ištiestos iš saulės centro. Turėdami tokį fiksuotą objektą mes visuomet žinosime geografinio meridiano linijos būklę. Deklinacijai surasti kompasas (žiūr. 22 pieš.) nustatomas taip, kad žiūrono ašis sutaptų su geografinio meridiano linija (eitų paraleliškai tai linijai). O magnetinės adatos ašis visuomet bus išilgai magnetinio meridiano linijos. Kampas tarp tų dviejų krypčių galima atskaityti ant kompaso graduoto disko, ir tas kampas bus deklinacija, nes pasukus kompasą taip, kad žiūrono ašis ir magnetinės adatos ašis būtų lygiagrečios, abidvi tos ašys bus lygiagrečios magnetinio meridiano linijai. Vadinasi, magnetinė adata bus plokštumoje magnetinio meridiano ir ji bus ant graduoto disko išilgai linijos, kurios galai pažymėti nuliais. Reikia vienok pridurti, kad magnetinėse observatorijose tikslesnei deklinacijai nustatyti vartojami vadinamieji magnetometrai, kurių procedūra yra daug painesnė.

Inklinacijos nustatomasai instrumentas vadinamas inklinatorium. Jį atvaizduoja 23 piešinys taip pat paprasčiausia forma. Štai turime vertikalinį graduotą diską M ir

gulsčią graduotą diską m su noniusu V. Vertikalinis diskas sukamas apie vertikalinę ašį ir jo azimutai (pasukimo kampai) atskaitomi noniuso V pagalba gulsčiame diske. Vertikalinio disko gulsčio diametro galai pažymėti skaitmenimis 0 ir gradusų padalinimai eina augštyn ir žemyn ligi 90°. Magnetinė adata ab turi gulsčią ašį plono plieno cilinderio pavidalu, kuri eina per adatos masės centrą; gulsčia ašis įdėta į atatinkamas aparato pakakles rėmuose rd. Dar geriau, jeigu magnetinė adata aprūpinama ašimi per jos masės centrą aštrios prizmos pavidalu, kaip aprūpinami svarstyklių naščiai, ir briauna tos prizmos nuleidžiama ant dviejų agato plokštumų, įdėtų atatinkamose vietose į aparato rėmus rd. Dabar svyruojant adatai, trynimas, kiek galima, bus sumažintas. Kad surastume inklinaciją, privalome padėti aparatą taip, kad vertikalinis diskas M būtų magnetinio meridiano plokštumoje. Tada magnetinė adata nusistatys išilgai magnetinės jėgos, ir mes tiesioginiu būdu atskaitysime inklinaciją (23 piešiny ta inklinacija yra lygi 68°). Taigi turint kompasą ir pasukus inklinatorių taip, kad jo vertikalinio disko plokštuma būtų lygiagreti kompaso adatai, mes paprasčiausiu būdu, bet ne visai tiksliu, surasime inklinaciją. Šitam dydžiui nustatyti kiek tiksliau, inklinatorius sukamas tol, kol adatos galai bus ties 90°, t. y. kol adata nusistatys vertikališkai. Tai reiškia, kad šitoje būklėje adatą veikia tik vertikalinė žemės magnetinės jėgos komponenta. Šitoje būklėje vertikalinė disko plokštuma sudaro kampą 90° su magnetinio meridiano plokštuma. Pasukus šitą vertikalinį diską iš nurodytos būklės kampu 90°, jo plokštuma atsidurs magnetinio meridiano plokštumoje. Bet tiksliausiems rezultatams reikia atlikti visa eilė manipuliacijų, būtent, atskaityti adatos būklė ant disko, kada jo graduota pusė atkreipta į rytus ir kada ji atkreipta į vakarus, ir kiekvienoje iš tų būklių padaryti dar du atskaitymai adatai, būtent, kada viena adatos pusė atkreipta į padalinimus ir, apvertus adatą, taip, kad antra jos pusė būtų atkreipta į padalinimus; be to, kiekvieną sykį atskaitant abiejų adatos galų būkles, taip kad iš viso daroma ne mažiau kaip 8 atskaitymai ir iš tų 8 atskaitymų imamas aritmetinis vidurys. Tai daroma, kad būtų eliminuotos klaidos del gulsčio graduoto disko ekscentriciteto ir del adatos magnetinės ašies nesutapimo su jos geometriška ašimi, nes sunku pagaminti tokia adata, kurios geometrinė ašis ir magnetinė ašis sutaptų.

Bet galima tiksliai nustatyti inklinacija ir nenustatant inklinatoriaus vertikalinio disko magnetinio meridiano plokštumoje. Tegul inklinatoriaus vertikalinis diskas sudaro kampą α su magnetinio meridiano plokštuma ir tegul tokioje būklėje inklinacija bus lygi i_1 (atskaityta ant disko inklinacija), o tikra inklinacija tegu bus I. Tad išeinant iš anksčiau duoto santykio $\frac{V}{H} = \text{tg I}$ mes turėsime:

$$\text{cotg } i_1 = \frac{H \cos \alpha}{V} = \text{cotgI cos}\alpha \quad (1).$$

Pasuksime dabar inklinatoriaus vertikalinį diską kampu 90° pirmykštės būklės atžvilgiu, naudodamiesi gulsčiu disku. Dabar mes atskaitysime ant vertikalinio disko inklinaciją i_2 ir turėsime šią lygtį:

$$\text{cotg } i_2 = \frac{H}{V} \cos (\alpha - 90^0) = \text{cogtI sin}\alpha \quad (2).$$

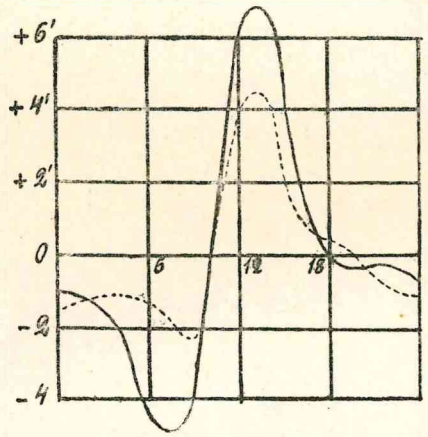
Pakeldami pirmąją ir antrąją lygtį kvadratu ir sudėdami gausime: $\text{cotg}^2 i_1 + \text{cotg}^2 i_2 = \text{cotg}^2 \text{I}$. Taigi inklinacijai surasti, reikia atskaityti inklinacijas dviejose vertikalinio disko būklėse statmeniškai viena antrai. Tada iš paskutinės lygties galima apskaityti inklinacija I.

Elektromagnetizmo srityje mes turėsime progos susipažinti dar su vienu inklinacijos surandamuoju metodu; jo pagalba nustatome santykį tarp vertikalinės ir gulsčios žemės magnetizmo komponentų, o mes jau žinome, kad šitas santykis $\frac{V}{H} = \text{tg I}$.

Trečiasai žemės magnetizmo elementas, kuris reikia nustatyti, yra žemės magnetizmo duotoje vietoje intensingumas arba stiprumas T. Praktikoje vienok visuomet

matuojama žemės magnetizmo intensingumo gulsčia komponenta H, ir jau iš žinomo mums santykio $H = T \cos I$ apskaitoma visa jėga T, lygiai kaip iš santykio $\frac{V}{H} = \operatorname{tg} I$ galima apskaityti vertikalinė žemės magnetizmo komponenta. Taigi matuojama tik gulsčia komponenta H Gauso metodu, kuris aprašytas 1 § gale.

Šitie žemės magnetizmo elementai nėra pastovūs dydžiai. Jie kinta dienomis, metais ir šimtmečiais. Taigi mes turime darbo su vadinamomis žemės magnetizmo variacijomis. Dieninės variacijos, sakysime, magnetinės deklinacijos neišeina iš ribų vidutiniškai 5' ir reiškia aiškų periodiškumą, surištą su saulės padėtimi danguje. 24 piešinys duoda dieninių variacijų diagramą, nupieštą remiantis magnetinės observatorijos Kew Londone duomenimis. Tiršta periodinė linija duoda dienines variacijas vasaros metu, o punktyru nupiešta periodinė linija duoda variacijas žiemos metu. Variacijos maximumai atsitinka vasaros metu 8 val. ryto ir 13 val., skaitant nuo vidurnakčio. Žiemos metu variacija yra mažesnė, kaip vasaros metu. Be to, konstatuota dar variacijos periodiškumas sąryšy su mėnulio padėtimi danguje. Ir vienu ir antru atveju mes turime paprastas variacijas ramiomis dienomis. Bet būna dar vadinamos magnetinės audros, kada magnetinės adatos atsilenkimai nuo pusiausvyros būklės pasiekia 1° ir daugiau, ir kada visos magnetinės adatos žemėje reiškia didelį neramumą, svyruodamos nepaprastai didelėmis amplitūdomis. Magnetinės audros dažniausiai atsitinka, kada būna šiaurės spindėjimas (aurora borealis) arba kada saulėje pasirodo dėmė, užimanti didesnį, kaip paprastai, plotą ir pagaliau, kada įvyksta kame nors žemės drebėjimas. Šiaurės spindėjimas be abejo yra surištas su elektros išlydžiais augštuose atmosferos sluogsniuose. Antra vertus, pasirodymas dėmės saulėje, turi būti, žymiai keičia augštiesiems atmosferos sluogsniams elektros padėtį. Šiandien visi pripažįsta, kad bent magnetinės audros pareina nuo elektros sąjūdžių atmosferos augštuose sluogsniuose.



24 pieš.

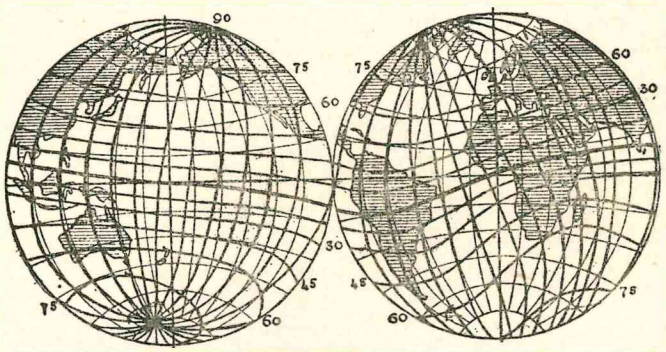
Metinės variacijos irgi yra surištos su saulės būkle ir, aplamai, neišeina iš ribų keleto minučių. Pridursime čia dar, kad magnetinės audros reiškia tą patį periodiškumą kaip ir skaičius dėmių saulėje, būtent 11 metų periodą. Tokį pat periodiškumą reiškia ir šiaurės spindėjimai. Taigi maximum magnetinių audrų sutampa su maximum saulės dėmių. Taip pat sutampa ir minimumai tų dviejų fenomenų.

Pagaliau šitoje srityje tenka skaitytis dar su šimtmetinėmis žemės magnetizmo elementų variacijomis. Sakysime, vakarų deklinacija kas metai mažėja nedideliu kampu, vidutiniškai apie 0,15°. Per keliolika ar kelias dešimtis metų pasiekia 0, tampa rytų deklinacija, didėja, ir paskui vėl grįžta prie 0, ir vėl darosi vakarų deklinacija. Taigi ir čia mes turime periodišką variaciją, tiktai tos variacijos periodas apima daug metų, sakysime, 100 metų. Taip, pavyzdžiui, Paryžiuje 1580 metais deklinacija buvo 11°,5 į rytus, 1663 metais ta deklinacija buvo 0, paskui tapo vakarų deklinacija ir 1814 metais pasiekė 22,5° į vakarus, skaitant nuo Greenwich'o meriadiano. Nuo 1814 metų ta vakarų deklinacija Paryžiuje vėl kas metai mažėja. Tas pats reikia pasakyti ir apie inklinaciją. Taip Paryžiuje 1671 metais inklinacija buvo 75°, o šiandien ta inklinacija Paryžiuje yra lygi 64,8°. Pagaliau, panašiai dienines, metines ir šimtmetines variacijas reiškia ir žemės magnetizmo intensingumas.

Kadangi šitie žemės magnetizmo elementai pareina nuo geografinės platumos ir nuo geografinės ilgumos ir, be to, yra įtakoje dieninių, metinių ir šimtmetinių variacijų, tai, remiantis įvairių magnetinių observatorijų duomenimis, kas metai sustatomi mag-

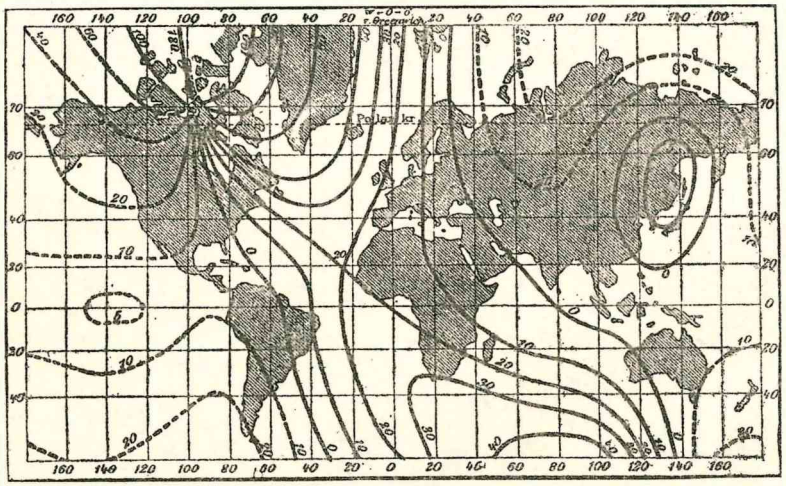
netiniai žemėlapiai, kurie turi didelės svarbos magnetizmo teorijai ir praktikai, ypač jūrininkystės reikalui.

Žemės geografinio pusiaujo srityje galima ištiesti didysis ratas. Bet kurioje to rato vietoje inklinatoriaus magnetinė adata nusistato gulsčiai. Šitas didysis ratas vadinasi magnetinis pusiaujis. Į šiaurę nuo šito rato magnetinės adatos šiaurės polis linksta žemyn, o į pietus nuo magnetinio pusiaujo linksta žemyn magnetinės adatos pietų polis. Šiaurės ir pietų žemės magnetiniuose poliuose inklinatoriaus magnetinė adata stovi stačiai. 25 piešinys duoda žemėlapį, kuriame pažymėtos vadinamos izoklinos, t. y. kreivos linijos, kuriose magnetinė inklinacija yra to paties didumo, vadinasi, 1^0, 2^0, 3^0... 89^0. Aišku, kad šitos izoklinos atatinka geografinėms paralėlėms. Tas pats žemėlapis rodo, kad magnetinis pusiaujis (tiršta vidurinė linija) randasi 10^0 šiaurės platumos augščiau geografinio pusiaujo (tiesi vidurinė linija) Indijos okeane ir žemiau geografinio pusiaujo 16^0 pietų platumos Brazilijoje. Reikia atkreipti dėmesio į tai, kad izoklinos nėra taisyklingi ratai, kaip geografinės paralėlės, bet daugiau ar mažiau iškreipti.



25 pieš.

Padalinus magnetinį pusiaujį į 360^0 ir einant nuo kiekvieno padalinimo į šiaurę arba į pietus kompaso adatos kryptimi, mes gausime didelius ratus, kurie atatinka geografiniams meridianams ir todel jie vadinami magnetiniais meridianais. Jie visi sueina magnetiniuose poliuose (žiūr. 25 pieš.). Šitie ratai irgi šiek tiek iškreipti. Vienas iš jų sutampa su geografiniu meridianu 90^0. Šitie ratai nėra žemės lauko jėgų

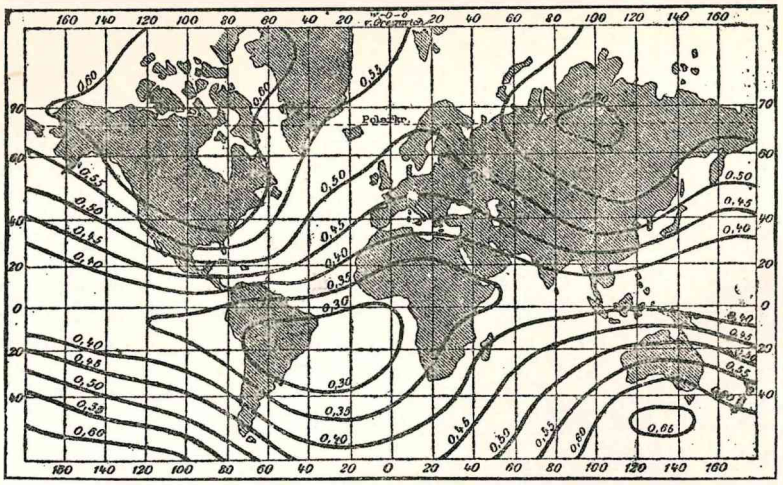


26 pieš.

linijos, nes magnetinė jėga, kaip mes jau žinome, veikia tam tikru kampu akiračio atžvilgiu. Bet į tuos ratus galima žiūrėti kaipo į linijas žemės magnetizmo gulsčios komponentos.

1831 metais kapitonas James Ross'us konstatavo inklinaciją 90^0 Boothijoje, Šiaurės Amerikos poliarinėje srityje, būtent 70^0 5' šiaurės geografinėje platumoje ir 96^0 46' va-

karų ilgumoje. Taigi, šita vieta yra žemės magnetizmo pietų polis. 1903 metais tą pačią vietą surado Amundsenas, kuris ten išbuvo apie 2 metus ir atliko visą eilę magnetinių stebėjimų ir matavimų. Antarktinis magnetinis polis arba žemės magnetizmo šiaurės polis surastas 1909 metais ir randasi į pietus nuo Australijos 72° pietų geografinės platumos ir 155° rytų ilgumos. Ir vėliau šitas polis buvo surastas bent dusyk. Kadangi abudu žemės magnetiniai poliai buvo surasti kartotinai ir gauta kiek skirtingos jų būklės, tai iš to išeina, kad abudu žemės magnetiniai poliai pamaži sukasi vienas į rytus, antras į vakarus. Be to, šiandien ne be pamato spėjama, kad šiaurėje ir pietuose reikia skaityti bent po du magnetinius polius ir po du magnetinius fokus. 26 piešinys atvaizduoja deklinacijos žemėlapį 1885 metų. Ant šito žemėlapio tam tikromis kreivomis linijomis sujungtos vietos žemėje, kurios turi to paties didumo ir tos pačios krypties deklinaciją. Šitos linijos vadinamos izogonomis. Aišku, kad tas žemėlapis yra ypatingai svarbus jūrininkystei. Šitos izogonos irgi sueina magnetiniuose žemės poliuose. Atkreipsime dėmesio į tai, kad viena iš tų linijų, pažymėta skaitmenimi 0, eina per Braziliją, perkerta Atlantiką į rytus nuo West-Indijos, įeina į Šiaurės Ameriką netoli nuo Kap-Hatteras ir perkerta Hudsono įlanką. Paskui ji eina per



27 pieš.

žemės magnetinį polį, pasiekia Europą į rytus nuo Nord-Kappo, paliečia Juodąsias jūras, perkerta Indijos okeaną ir Australiją ir pagaliau baigiasi pietų magnetiniame pole. Visur šitoje izogonoje deklinacija yra lygi 0 ir, vadinasi, joje magnetinė adata tikrai rodo į šiaurės magnetinį polį. Dar pridėkime, kad Rytų Azijoje yra izogona, pažymėta skaitmeniu 0. Taigi ir čia magnetinė adata rodo tikrai į šiaurės polį. Šita izogona turi uždarytos elipsės pavidalą ir jos vidury yra antra izogona uždarytos elipsės pavidalo. Įdomu, kad deklinacija tarp šitų dviejų izogonų yra į vakarus, nes, apskritai, į rytus nuo nulinės izogonos mes turime rytų deklinaciją, o į vakarus — vakarų deklinaciją. Taigi mes čia turime darbo su vietine anomalija magnetizmo srityje, kuri pareina nuo magnetinių uolų. Magnetinės anomalijos žinomos dar Rusijoje Kursko gubernijoje ir Airijoje.

27 piešinys atvaizduoja žemėlapį, kuris rodo visos žemės magnetinės jėgos padalinimą žemėje. Tos žemės vietos, kur magnetinė jėga yra to paties didumo, sujungtos čionai netaisyklingomis kreivomis linijomis, kurios vadinamos izodinamomis (lygių jėgų linijos). Iš šito žemėlapio matyti, kad, aplamai, žemės magnetinė jėga auga einant nuo magnetinio pusiaujo į magnetinius polius, bet pasiekia maximum ne pačiuose poliuose, bet augščiau minėtuose magnetiniuose fokuose. Skaitmens, kuriais pažymėtos izodinamos, duoda magnetinės jėgos didumą gausais.

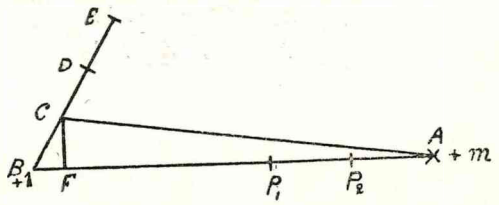
Norėdami parodyti žemės magnetizmo elementų skirtumą įvairiose vietose, privesime čionai keletą duomenų iš 1919 metų. Tais metais buvo vakarų deklinacija Berlyne 7,6°, Münchene 8,5° ir Paryžiuje 13,2°. Tais pačiais metais inklinacija Berlyne buvo 66°,40, Münchene 63,3° ir Paryžiuje 64,8°, ir, pagaliau, gulsčia komponenta H Berlyne buvo 0,188 gausai, Münchene 0,205 gausai ir Paryžiuje 0,198 gausai.

Žemės magnetizmo elementų varijacijoms sekti reikia magnetinės observatorijos aprūpinti automatiškais registruojamais aparatais, Tam tikslui vartojami trys magnetai: vienas — registruoti deklinacijos variacijoms, antras — gulsčios komponentos variacijoms ir trečias vertikalinės komponentos variacijoms. Tie magnetai kiekvienas kaba dėžėje tamsiame kambary ir yra sujungti su plokščiu veidrodžiu, ant kurio puola šviesa nuo lempos ir kuris atmuša šviesos spindulį ant cilinderio, apkloto fotografiniu popierium. Tasai cilinderis sukamas tam tikru greitumu laikrodžio mechnizmo pagalba. Be to, kiekvienas magnetas apsiaustas storu vario žiedu, kad būtų slopinamos vibracijos. Deklinacijos magnetas pakabintas taip, kad jis nusistato išilgai gulsčios komponentos. Gulsčios komponentos magnetas pakabintas bifiliariškai, užsukant sraigtu tuos siūlus taip, kad magnetas nusistatytų tiesiu kampu į magnetinį meridianą, nes tokioje būklėje magnetas bus ypatingai jautrus gulsčios komponentos variacijoms, o čia juk ir reikia registruoti variacijas.

Vertikalinės komponentos magnetas aprūpintas plona prizma, kuri eina per magneto centrą ir kurios briauna remiasi agato plokštumos. Šitas megnetas nustatomas taip, kad, veikiant vidutiniškai vertikalinei komponentai, jis būtų gulsčioje būklėje. Jis yra visais atžvilgiais panašus į svarstyklių naščius. Kintant vertikalinės komponentos didumui arba krypčiai, magnetas linksta į tą ar į kitą pusę. Be šitų automatiškai registrojamųjų aparatų, magnetinė observatorija turi deklinatorių, inklinatorių ir magnetometrą; jų pagalba, reikalui atsitikus, nustatomos absoliutinės vertybės žemės magnetizmo elementams.

Del tikrosios priežasties žemės magnetizmui ir jo varijacijoms mūsų laikų žiniomis tik spėlioti tegalime. Turime visą eilę hipotezių, kurios nė viena neišsprendžia dalyko iš pamatų. Be to, šitų hipotezių negalima suprasti nesusipažinus arčiau su elektrostatikos ir elektrodinamikos dėsniais ir su atmosferos elektra. Taigi čionai duosime tik pagrindus vienos matematiškos žemės magnetizmo teorijos, paskelbtos Gauso 1839 m.

Gauso teorija remiasi magnetinio potencialo koncepcija, ir todel, kaipo trumpą įvadą tai teorijai, duosime čia magnetinio potencialo apibrėžimą.



28 pieš.

Tegul taške A (žiūr. 28 pieš.) bus sukoncentruota šiaurės arba teigiama magnetinė masė m. Apie šitą masę erdvėje mes turime magnetinių jėgų lauką ir to lauko stiprumas, arba intensingumas, bet kurioje vietoje atokume r nuo magnetinės masės m yra lygus $\frac{m}{r^2}$ dinų (arba gausų, atsimenant, kad lauko intensingumo vienetas yra 1 gausas), nes tai yra jėga, veikianti tarp magnetinės masės m ir šiaurės magnetizmo vieneto atokume r nuo masės m. Visais tais atvejais, kada jėgos veikia atvirkščiai proporcingai atokumo kvadratui, kaip tai atsitinka gravitacijos lauke, magnetiniame lauke ir elektrostatiniame lauke, fizikoje kalbama arba apie lauko intensingumą, išreiškiant tą intensingumą taip, kaip anksčiau parodyta, arba apie jėgų lauko potencialą duotoje lauko vietoje, Taigi mes turime gravitacijos potencialą, magnetinį potencialą ir elektrostatinį potencialą ir vadiname potencialu tą darbą, kuris reikia atlikti, kad šiaurės magnetizmo vienetas būtų priartintas iš begalinio atokumo prie šiaurės masės m atokumu r nuo tos masės, pergalint atsparos jėgą, veikiančią tarp šitų dviejų magnetinių masių. Jeigu mes turime pietų magnetinę masę, tada magnetinis potencialas bus darbas, kuris reikia atlikti, kad prieš

traukos jėgą būtų nuvarytas šiaurės magnetizmo vienetas iš atokumo r nuo magnetinės masės—m į begalinį atokumą. Aišku, kad gravitacijos lauko potencialo apibrėžimas bus toks pat, kaip neigiamos magnetinės masės potencialo apibrėžimas.

Taigi tegu taške B (žiūr. 28 pieš.) ant linijos AB randasi šiaurės magnetizmo vienetas. Tarp šito magnetizmo vieneto ir šiaurės masės m veikia atsparos jėga, einant Coulombo dėsniu. Suskaičiuosime dabar darbą, kuris reikia atlikti, kad šitas šiaurės magnetizmo vienetas būtų nuvarytas nuo taško B, sakysime, į tašką E ant linijos BE. Padalinsime liniją BE į visą eilę labai mažų atkarpų BC, CD... DE ir suskaičiuosime atskirai darbus, reikalingus tam, kad magnetizmo vienetas būtų nuvarytas nuo taško B į tašką C, paskui nuo taško C į tašką D ir t. t. Taške B magnetinio lauko stiprumas, einant Coulombo dėsniu, bus $\frac{m}{AB^2}$. Tai bus magnetinė jėga, veikianti šitame taške. Nuvarius magnetizmo vienetą nuo taško B į tašką C mes jį priartinsime prie magnetinės masės + m. Kadangi atkarpa BC labai maža, tai mes galime išvesti, kad AB — AC = BF ir $AB^2 = AB.AC$. Vadinasi, mes priartinsime magnetizmo vienetą prie magnetinės masės + m per BF ir todel prieš atsparos jėgas, veikiančias tarp tų dviejų magnetinių masių, atliksime nedidelį darbą.

$$dA_1 = \frac{m}{AB^2} \cdot BF = \frac{m}{AB^2}(AB - AC) = m\left(\frac{1}{AC} - \frac{1}{AB}\right).$$

Taip pat pavarę magnetizmo vienetą nuo taško C į tašką D, mes atliksime nedidelį darbą prieš atsparos jėgas $dA_2 = m\left(\frac{1}{AD} - \frac{1}{AC}\right)$. Toliau, pavarę magnetizmo vienetą nuo taško D į tašką E, mes atliksime nedidelį darbą $dA_3 = m\left(\frac{1}{AF} - \frac{1}{AD}\right)$ ir t. t. Taigi nuvarydami magnetizmo vienetą iš taško B į tašką E mes iš viso atliksime darbą

$$dA_1 + dA_2 + dA_3 + \ldots = \Sigma\,(dA) =$$

$$= m\left(\frac{1}{AC} - \frac{1}{AB} + \frac{1}{AD} - \frac{1}{AC} + \frac{1}{AE} - \frac{1}{AD} + \ldots\right) = m\left(\frac{1}{AE} - \frac{1}{AB}\right).$$

Priimsime dabar, kad magnetizmo vienetas randasi begaliniam atokume nuo magnetinės masės + m; tada suma visų darbų, priartinus magnetizmo vienetą iš begalinio atokumo į tašką E, bus: $\Sigma\,(dA) = \frac{m}{AE}$. Sitas dydis vadinamas magnetiniu potencialu taške E, kuris pareina nuo magnetinės masės + m taške A. Mes nuvarėme magnetizmo vienetą iš taško B į tašką E išilgai linijos BCDE ir atlikome darbą

$$\Sigma\,(dA) = \frac{m}{AE} - \frac{m}{AB},$$

vadinasi, darbą, lygų skirtumui magnetinių potencialų taškuose E ir B. Einant tokiais pat samprotavimais nesunku įrodyti, kad nuvarant magnetizmo vienetą įvairiais keliais iš padėties B į padėtį E, sakysime, kokia laužta arba kreiva linija, atliktas darbas bus tas pats, tai yra, bus lygus skirtumui magnetinių potencialų taškuose E ir B. Šito darbo didumas nepareina nuo kelio, kuriuo jis atliktas. Todel ir potencialo didumas, sakysime, taške E nepareina nuo to kelio, kuriuo magnetizmo vienetas iš begalinio atokumo bus nuvarytas į tašką E. Apskritai, jeigu mes turime vienam taške sukoncentruotą magnetinę masę + m, tai magnetinis potencialas bet kuriam taške atokume r yra lygus $\frac{m}{r}$. Pastūmus magnetizmo vienetą išilgai linijos, jungiančios tą vienetą, ir

magnetinę masę m prieš atsparos jėgas labai mažu atokumu dr, mes atliksime labai mažą darbą $dA = \frac{m}{r2}\, dr$. Integruojant šitą lygtį mes gausime:

$$\int dA = \int_{r_1}^{r_2} m.\frac{dr}{r^2} = \frac{m}{r_2} - \frac{m}{r_1}.$$

Tai bus darbas, atliktas pavarant magnetizmo vienetą iš atokumo r_1 į atokumą r_2. Jeigu $r_1 = \infty$, tai darbas A arba potencialas $V = \frac{m}{r}$.

Nustatysime dabar santykius tarp magnetinio potencialo ir lauko stiprumo, arba intensingumo, žinodami, kad šitą lauko intensingumą galime išskaidyti arba pakeisti komponentomis įvairiomis kryptimis. Paimsime ant linijos AB (žiūr. 28 pieš.) taškus P_1 ir P_2 ir tegu komponenta magnetinio lauko stiprumo išilgai linijos P_1P_2 bus X. Tad mes turėsime: $P_2 - P_1 = -X.P_1P_2$, nes $P_2 - P_1$ yra potencialų skirtumas taškuose P_2 ir P_1, tai yra darbas, tasai darbas lygus jėgai, padauginus atokumu, kuriuo pastumtas tos jėgos pridėjimo taškas. Iš augščiau duotos lygties turime: $X = -\frac{P_2 - P_1}{P_1P_2}$, arba sutikę, kad atokumas P_2P_1 yra labai mažas, ir pažymėję jį ženklu dx, o atatinkamai nedidelį potencialų skirtumą ženklu dV mes gausime: $X = -\frac{dV}{dx}$. Tai yra pagrindinis santykis tarp potencialo ir jėgos duotoje magnetinio lauko vietoje. Atkartosime, kad tokie pat santykiai veikia gravitacijos laukui ir elektrostatiniam laukui.

Dabar galime eiti prie Gauso magnetizmo teorijos. Gausas norėjo surasti formulą, kuri tiksliai išreikštų žemės magnetinį lauką bet kuriam taške jos paviršiaus. Gausas žinojo, kad žemė yra rutulys ir kad jos magnetinis laukas pareina nuo magnetizmo jos vidury, nuo išorės magnetizmo ir nuo elektros srovių, kurios randasi arba visiškai žemės vidury arba visiškai išorėje žemės paviršiaus. Mes vėliau pamatysime, kad tokios elektros srovės galima pakeisti tuščių vidurių magnetais arba uždarytais magnetiniais sluogsniais, taip kad, aplamai, galima sutikti, kad žemės magnetinis laukas pareina nuo tam tikro magnetizmo padalinimo žemėje ir viršum žemės. Tegu duotoje vietoje magnetizmo elementas bus dm ir tegu r bus tos vietos atokumas nuo tam tikro taško. Tad magnetinis potencialas $V = \int \frac{dm}{r}$ atitiks tam tikram magnetizmo padalinimui. Vienu žodžiu, kiekvienas taškas žemės paviršiuje turės tam tikrą potencialą V. Paimsime dabar tašką P išorėje žemės, atokume r nuo jos centro. Linija, jungianti šitą tašką P su žemės centru susikerta su žemės paviršium tam tikram taške, kurio geografinė platuma, sakysime, yra l ir geografinė ilguma λ. Pažymėjus žemės stipiną raide R Gausas duoda šitokią lygtį magnetiniam potencialui taške P:

$$V = B_0 \frac{R}{r} + B_1 \frac{R^2}{r^2} + B_2 \frac{R^3}{r^3} + \ldots \quad (1)$$

Mes čia turime sueinamąją (konvergentinę) eilę su dydžiais B_0, B_1, B_2..., kurie yra funkcijos l ir λ. Tos yra Gauso nustatytos vadinamos sferiškai harmoniškos funkcijos. N — tasai dydis Bn yra funkcija, turinti $2n + 1$ laisvų konstantų.

Labai dideliam nuo žemės atokume magnetinis potencialas yra $V = \frac{M \cos \alpha}{r^2}$. Čia M reiškia žemės magnetinį momentą, o α kampą, kurį sudaro žemės magnetinė ašis su linija, jungiančia žemės centrą su tašku P. Taigi pirmutinis augščiau duotas eilės narys tokiomis sąlygomis atpuola, vadinasi, $\frac{B_0 R}{r} = 0$ arba $B_0 = 0$. Antra vertus, $B_1 = a \sin l + b \cos l \sin \lambda + c \cos l \cos \lambda$, nes $B_1 R^2 = M \cos \alpha$. Taigi funkcija B_1 turi tris konstantas a, b ir c, kurios pareina nuo magnetinės ašies būklės.

Magnetinis potencialas žemės vidury, taške atokumo r nuo žemės centro einant Gausu, išreiškiamas šia sueinamąja eile: $V = V_0 + A_0 \frac{r}{R} + A_1 \frac{r^2}{R^2} + \ldots$ Cionai dydžiai A_0, A_1, A_2... irgi yra Gauso sferiškai harmoniškos funkcijos su laisvomis konstantomis, bet kito didumo kaip konstantos funkcijų B_0, B_1 ir t. t. V_0 yra potencialas žemės centre, nes tai yra potencialo vertė, kada $r = 0$. Taigi šitą potencialą mes galime atmesti, nes išreikšdami jėgą potencialo pagalba $\left(X = -\frac{dV}{dx}\right)$ mes diferencijuojame potencialą V, o diferencialas nuolatinio dydžio yra nulis.

Įsivaizduokime dabar sau ploną sluogsnį apie žemės paviršių ir tegul tasai sluogsnis visiškai neturi magnetizmo. Tada potencialas tokio sluogsnio vidury bus lygus sumai potencialų, kurie pareina nuo išorinio ir išvidinio žemės magnetizmų. Vadinasi, šito išorinio plono sluogsnio potencialui mes turėsime šitokią lygtį:

$$V = A_0 \frac{r}{R} + A_1 \frac{r^2}{R^2} + A_2 \frac{r^3}{R^3} + \ldots \quad + B_1 \frac{R^2}{r^2} + B_2 \frac{R^3}{r^3} + \ldots$$

Einant Gauso pavyzdžiu magnetinėse observatorijose nustatoma žemės magnetizmo komponentos trimis pagrindinėmis kryptimis: išilgai meridiano arba gulsčia kryptimi, išilgai paralėlės arba kryptimi iš rytų į vakarus ir išilgai žemės stipino, t. y. vertikaline kryptimi. Pažymėsime komponentą gulsčia kryptimi raide X, kryptimi iš rytų į vakarus raide Y ir vertikaline kryptimi raide Z. Be to, pažymėsime magnetinės observatorijos geografinę platumą raide l ir geografinę ilgumą raide λ. Turėdami galvoj santykius, esamus tarp lauko potencialo ir jėgos, jėga bet kuria kryptimi s bus mums lygi $-\frac{dV}{ds}$. Čia V reiškia magnetinį potencialą. Komponentai meridiano kryptimi X mes turime $s = Rl$. Čia R reiškia žemės stipiną. Taigi $ds = Rdl$ ir komponenta

$$X = -\frac{1}{R}\frac{dV}{dl} \quad (1).$$

Komponentai Y išilgai paralėlės kryptimi iš rytų į vakarus mes turime $s = R \cos l . \lambda$ arba $ds = R \cos l \, d\lambda$ (nes šituo atveju R ir l yra pastovūs dydžiai). Taigi komponenta

$$Y = -\frac{1}{R \cos l} \cdot \frac{dV}{d\lambda} \quad (2).$$

Pagaliau vertikaline kryptimi žemyn mes turime $s = -r$ ir $ds = -dr$. Taigi vertikalinė komponenta

$$Z = \frac{dV}{dr} \quad (3)$$

Kaip jau pasakyta, šitas komponentas X, Y ir Z galima suskaičiuoti einant matavimų rezultatais magnetinėse observatorijose. Remiantis diferencinėmis lygtimis del X, Y ir Z galima suskaičiuoti magnetinis potencialas ir surasti konstantas sferiškai harmoniškų funkcijų B_1 B_2 ir t. t...

Patikrindamas savo teoriją magnetinių observatorijų matavimų duomenimis, Gausas iš pradžios išvedė, kad žemės magnetinis laukas išimtinai pareina nuo išvidinio žemės magnetizmo. Tuo atveju mes turime žemės magnetiniam potencialui lygtį:

$$V = B_1 \frac{R^2}{r^2} + B_2 \frac{R^3}{r^3} + B_3 \frac{R^4}{r^4} + B_4 \frac{R^5}{r^5}.$$

Gausas pasitenkino šitoje lygtyje tik keturiais nariais, nes šita eilė sueina taip greitai, kad tolimesnius narius, kaipo labai mažus dydžius, galima atmesti. Mes jau anksčiau pažymėjome, kad funkcija B n (n-toji funkcija) turi $2n + 1$ laisvų konstantų.

Taigi funkcija B_1 turi 3 konstantas, funkcija B_2 5 konstantas, B_3 7 ir B_4 9, iš viso 24 konstantos. Reikia vienok turėti galvoj, kad šitos konstantos nieko mums nepasako del žemės išvidinio magnetizmo padalinimo, nors jos ir pareina nuo to padalinimo. Tam tikras magnetizmo išorinio potencialo padalinimas gali būti padaromas begaline daugybe būdų išvidinio magnetizmo padalinimo.

Nurodytos 24 konstantos yra lengvai surandamos pasinaudojant bet kurių 8 magnetinių observatorijų rezultatais del X, Y ir Z. Mes tada turėtumėm 24 lygtis komponentoms ir potencialui ir iš tų 24 lygčių apskaitytumem 24 konstantas. Bet turėdamas galvoj neišvengiamas matavimų klaidas ir klaidas del matavimo redukcijos tam pačiam laikui (nes observatorijose komponentos X, Y, ir Z nustatoma ne tuo pačiu laiku). Gausas pasinaudojo duomenimis 12 magnetinių observatorijų įvairiose geografinėse platumose ir apskaitė reikalingas 24 konstantas, geriausiai patenkinamas tų 12 observatorijų dydžius X, Y ir Z. Naudodamasis tomis surastomis konstantomis, Gausas apskaitė komponentas X, Y ir Z dideliame skaičiuje magnetinių observatorijų ir sulygino savo apskaitymų vaisius su tų magnetinių observatorijų rezultatais. Pasirodė, kad skirtumai tarp pastebėtų dydžių X, Y ir Z ir Gauso apskaitytų neišeina iš stebėjimų ribų klaidų. Remiantis Gauso formula yra pagaminti žemėlapiai, kurie duoda izogonas, izoklinas ir izodinamas. Sulyginant Gauso žemėlapius su tais, kurie yra padaryti einant tiesioginiais matavimais, pasirodo nuostabus sutapimas vienų ir antrųjų, neišeinant skirtumams iš neišvengiamų klaidų ribų. Turime tad išvadą, kad žemės magnetinis laukas daugiausia pareina nuo žemės išvidinio magnetizmo. Matavimai ir apskaitymai vėlesniais laikais įvykę tai patvirtino.

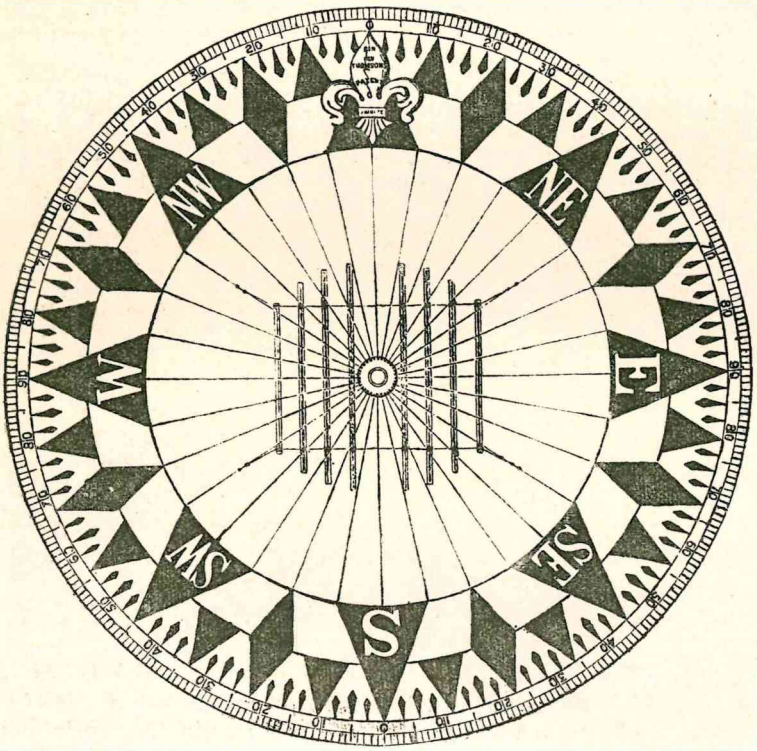
Gausas manė, kad magnetinių elementų variacijos galima nagrinėti jo metodu, skiriamu magnetiniams elementams skaičiuoti. Toliau, sulyginant variacijų apskaitymus su variacijų stebėjimais, jo nuomone, galima būtų išspręsti klausimas, ar tos variacijos pareina nuo žemės išvidinio magnetizmo atmainų, ar nuo išorinio. Eidamas Gauso metodu, profesorius Schusteris išnagrinėjo dieninių variacijų problemą 1870 metams ir padarė išvadą, kad dieninės magnetizmo variacijos visų pirma pareina nuo priežasčių, esamų žemės paviršiaus išorėje. Schusterio nuomone dieninių variacijų tikrą priežastį sudaro elektros srovės atmosferoje. Šitos srovės atmosferoje indukcijos keliu sudaro sroves žemėje, kurios daugiausia daro įtakos žemės magnetizmui ta prasme, kad vertikalinės komponentos amplitūdas mažina, o gulsčios komponentos — didina.

Kai del šimtmetinių variacijų, tai remiantis labai dideliu skaičium stebėjimų, padarytų nuo Gauso laikų ligi šių dienų, galima padaryti išvada, kad žemės magnetinė ašis sukasi apie žemės geografinę ašį ir to sukimosi periodas yra lygus 500 metų. Tas magnetinės ašies sukimasis indukcijos keliu sudaro elektros sroves, kurios keičia žemės magnetizmą, taip kad tas žemės magnetinis laukas, kurį mes faktiškai observuojame, pareina nuo žemės išvidinio lauko (pirmykščio lauko) ir nuo magnetinio lauko, sudaryto indukcijos srovėmis (antraeilio lauko). Visą eilę kitų klausimų, kurie liečia žemės magnetizmą, ir visų pirma klausimą del tikrosios žemės magnetizmo priežasties, galime šiandien interpretuoti tik įvairių hipotezių pagalba. Tuo būdu Gauso matematinė teorija del žemės magnetizmo turi ypatingai didelės reikšmės savo išvadų atžvilgiu, nes jos sutinka su observacijų rezultatais.

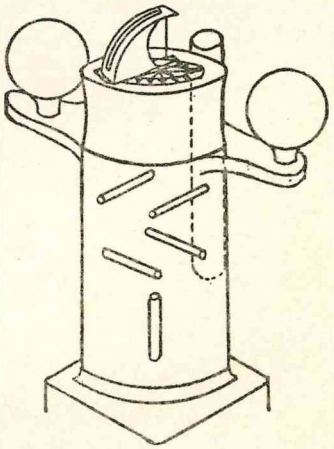
Pagaliau, aprašysime trumpai jūrininkų kompasą ir įrankius, kuriais pašalinamos kompaso klaidos del garlaivių magnetizmo. Šitie dalykai buvo įžymaus anglų fiziko, lordo Kelvino, iš pamatų ištirti; apie juos kalbėdami, mes remsimės to mokslininko darbo vaisiais. Visų pirma lordas Kelvinas suteikė jūrininkų kompasui tam tikrą formą ir konstrukciją, padarė jį pastovesnį ir nepriklausomą nuo visų klaidų, kurios pareina nuo garlaivio geležies (garlaiviai dabar statomi iš plieno ir, be to, jie visuomet veža daug geležinių prekių). Iš tikrųjų lordas Kelvinas pagamino tokį kompasą, kurio pagalba galima be kokių klaidų nustatyti kelionės kryptį plieniniam, 20.000 tonų, garlaiviui. Del to savo išradimo lordas Kelvinas teisingai buvo pavadintas „jūros tėvu“.

29 piešinys atvaizduoja lordo Kelvino kompaso judamąją dalį. Mes čia turime aštuonias plonas magnetines adatas iš plieno įvairaus ilgio, nuo 5 cm. ligi 7,5 cm., padarytas. Jos visos sveria tik 3,5 gramų; yra sujungtos skersai šilkiniais siūlais, taip

kad sudaro figūrą, panašią į lino laiptus, pririštus šilkiniais siūlais prie aluminijo skritulio pakraščių; skritulys yra apsuptas kartono disku, kuriame pažymėta SN, NE - WS, NW - SE ir EW kryptys. Pačiame disko vidury yra aluminijo kepurėlė, platinuota viduje. Kartono diskas šita kepurėle užmaunamas ant plono stiebo, turinčio aštrų galą, padarytą iš iridijo. Apatinis to stiebo galas yra kietai sujungtas su dugnu pusrutulio pavidalo indo, pagaminto iš vario arba misingio. Kartono diskas su magnetinėmis adatomis gali suktis arba svyruoti į vieną ar į antrą pusę. Pusrutulinio indo krantai išplėsti plokščio žiedo pavidalu. Ant šito žiedo paviršiaus visu jo apskritimu randasi gradusų padalinimai. Kartono diskas su magnetinėmis adatomis svyruoja vidury šito žiedo ir atsilenkimai magnetinių adatų galima atskaityti. Visas šitas kompasas įdedamas į medinę arba varinę dėžę cilinderio pavidalu, kuri tvirtai pastatoma tam tikroje garlaivio vietoje. 30 piešinys atvaizduoja tokią kompaso dėžę su azimuto instrumentu viršum kompaso stiklo ir su visais padargais, reikalingais eliminuoti klaidoms del garlaivio magnetizmo.

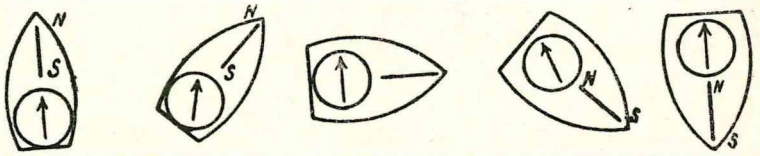


29 pieš.


30 pieš.

Jau mes žinome, kad del įtakos žemės magnetinio lauko magnetiniai metalai, kaip geležis, nikelis,plienas, darosi magnetais, išėmus tik atsitikimą, kada tie metalai savo ašimi padėti skersai žemės magnetinių linijų. Ypatingai smarkiai jie magnetizuojasi, kada yra padedami išilgai žemės magnetinių linijų. Taigi, žemės magnetizmas indukcijos keliu sudarys magnetizmą geležies metalams tik tam tikrose metalo būklėse. Išėjęs iš tų būklių, metalas nustos magnetizmo. Todel toksai metalo magnetizmas vadinasi laikinasis magnetizmas. Antra vertus, mes žinome, kad vienąsyk tuo ar kitu būdu įmagnetintas metalas palaiko įsigytą magnetizmą, ypatingai smarkiai jį išlaiko plienas ir, sulyginti, silpniau geležis. Pavadinsime šitą magnetizmą permanentiniu magnetizmu. Jei nėra artimiausioje apylinkoje geležies arba plieno, kompaso magnetinės adatos visuomet bus magnetinio meridiano plokštumoje. Laikinasis ir permanentinis plieno magnetizmas atlenks kompaso adatą iš tos plokštumos, ir, vadinasi, atskaityta mūsų deklinacija bus klaidinga. Klaidą del laikinojo magnetizmo Kelvinas pavadino kvadrantiška klaida, o del permanentinio magnetizmo — pusratine klaida.

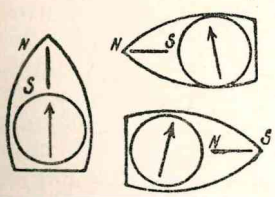
Kvadrantiškos klaidos iliustracijai pasinaudosime 31 piešiniu. Čionai juoda tiršta linija, pažymėta raidėmis NS, atvaizduoja laikinį viso garlaivio plieno magnetizmą, o plona iešma atvaizduoja kompaso magnetinę adatą. Iš piešinio aišku, kad nėra jokios klaidos deklinacijoje, kada garlaivio kursas yra iš šiaurės į pietus arba priešingai. Tuomet garlaivio plienas ypatingai smarkiai yra įmagnetintas žemės magnetizmo indukcija, bet kompaso adata tais atvejais nusistato išilgai ašinės jėgos linijos garlaivio laikino magnetizmo (žiūr. kairįjį ir dešinįjį 31 piež. vaizdus). Taip pat busolės adata rodo tikrai, kada garlaivio kursas yra iš rytų į vakarus arba atbulai, t. y., statmeniškai skersai žemės magnetinei linijai. Šituo atveju garlaivio plienas nėra įmagnetintas žemės magnetizmo indukcijos keliu, ir busolės adata rodo tikrai (žiūr. vidurinį vaizdą 31 piež.). Bet kada garlaivis turi kitą kokį kursą, jo plienas būna daugiau ar mažiau įmagnetintas indukcijos keliu ir kadangi dabar jo magnetizmo ašinės linijos kryptys sudaro kampą su adatos ašimi, tai adata bus atlenkta. Iš 31 piešinio matyti, kad esant garlaivio kursui NE arba SW, adata bus atlenkta į rytus, o esant jo kursui SE arba NW, adata bus atlenkta į vakarus. Išilginis indukcijos keliu sudarytas garlaivio magnetizmas dalinai kompensuojamas skersu to garlaivio magnetizmu. Kad galima būtų kompensuoti likusį išilginį garlaivio magnetizmą skersai garlaivio, arti nuo kompaso padedami du geležiniai rutuliai, taip kad atokumą tarp jų galima būtų, reikalui esant, kiek sumažinti arba padidinti (žiur. 30 piež.). Tuo būdu eliminuojama kvadrantiška klaida.



31 piež.

Vertikalinis garlaivio magnetizmas nėra priežastimi klaidingų busolės parodymų, kol garlaivis slenka lygiu vandens paviršium. Bet kada garlaivis yra supamas bangų, to vertikalinio magnetizmo jėgų linijos nebeperkerta statmeniškai kompaso magnetinių adatų ir duoda gulsčią komponentą, kuri sudaro adatų atsilenkimą kampu apytikriai 2 syk didesniu už supimo kampą. Šita supimo klaida pašalinama storu cilindriniu stiebu iš minkštos geležies padarytu, į 60 cm. ilgio, kuris nustatomas vertikališkai kompaso dėžės pryšakyje taip, kad jo viršutinis galas randasi kiek augščiau už kompaso stiklą. Aišku, kad čionai kvadrantiška ir supimo klaidos pašalinamos kompensuojant žemės magnetinę indukciją magnetizmu, kurį ta pati žemės magnetinė indukcija sudaro minkštoje geležyje.

Tegu plieno garlaivio permanentinis magnetizmas bus atvaizduotas permanentiniu magnetu NS, o kompaso adata plona linija su iešma jos gale (žiūr. 32 piež.). Aišku, kad nebus jokios klaidos kompaso adatos atsilenkime, kada garlaivis kursuos tiesiai į šiaurę arba į pietus, o maximum klaida įvyks tada, kada garlaivio kursas eis į rytus arba į vakarus. Šita klaida kompaso atsilenkime del permanentinio garlaivio magnetizmo vadinasi pusratinė klaida. Ji pašalinama, arba, tiksliau, kompensuojama, permanentiniais magnetais tam tikruose reguliuojamuose padėkluose ant piedestalų, kompaso dėžės apačioje. Paprastai imama du magnetai, kurių vienas padedamas išilgai garlaivio, kompaso adatos pryšakyje, o antras užpakalyje, atkreipiant juos priešingais poliais į kompaso adatos polius. Permanentinis magnetizmas skersai garlaivio kompensuojamas taip pat dviem permanentiniais magnetais kompaso dėžės apačioje, padėjus vieną tų magnetų dėžės pryšakyje, antrą iš užpakalio ir atkreipus juos poliais į priešingas puses. Šitie 2 magnetai padedami skersai garlaivio (žiūr. 30 piež.). Pagaliau permanentinis garlaivio magnetizmas vertikaline kryptimi kompensuojamas vertikaliniu permanentiniu magnetu apačioje kompaso dėžės, ties pat centru kompaso kortos. Tasai vertikalinis magnetas nustatomas taip, kad, reikalui atsitikus, jis galima būtų



32 piež.

pakelti augštyn arba nuleisti žemyn. Visi mūsų aprašyti kompensuojamieji magnetai lygiai kaip ir geležinės kompensacijos dalys laikiniam indukcijos magnetizmui kompensuoti, parodyti 30 piešiny, kuris schematiškai atvaizduoja lordo Kelvino padirbtą jūrininkams kompasą.

Jei kompasas yra gerai padirbtas ir kaip reikiant nustatytas, garlaivio magnetizmo efektas kompaso kortai privalo būti tas pats bet kuriame garlaivio kurse. Tas parodo, kad sudėtinė jėga, kuri pareina nuo žemės magnetizmo, nuo garlaivio magnetizmo ir nuo visų kompensatorių, privalo būti pastovus dydis bet kuriam garlaivio kursui.

Dalykas galima patikrinti: galima paimti permanentinis magnetas ir padėjus jį kryptimi iš rytų į vakarus, ant kompaso dėžės stiklo sudaryti magnetinės kortos atsilenkimą tam tikru kampu (dažniausiai sudaromas atsilenkimas kampu 85°, paėmus reikiamojo stiprumo permanentinį magnetą). Toliau magnetas nuimamas nuo kompaso stiklo. Pasukus dabar garlaivį kitu kursu, magnetas dedamas vėl ant kompaso stiklo išilgai linijos EW. Jeigu viskas eina tvarkingai, kompaso korta vėl bus atlenkta tuo pačiu kampu, sakysime, kampu 85°. Atkartojus tokį bandymą penkiems įvairiems garlaivio kursams ir įsitikinus, kad visais tais atvejais magnetinė korta atlenkiama tuo pačiu kampu, teks konstatuoti, kad kompasas padirbtas kaip reikia ir nustatytas tinkamai. Be to, galima dar padaryti supimo bandymais pasinaudojant inklinacijos adata, laikant ją viršum kompaso kortos.

Reikia vienok pasakyti, kad šiandien garlaiviai vietoj kompaso dažnai vartoja gyroskopą, kaip tai esame minėję Mechanikos skyriaus 95 puslapy.

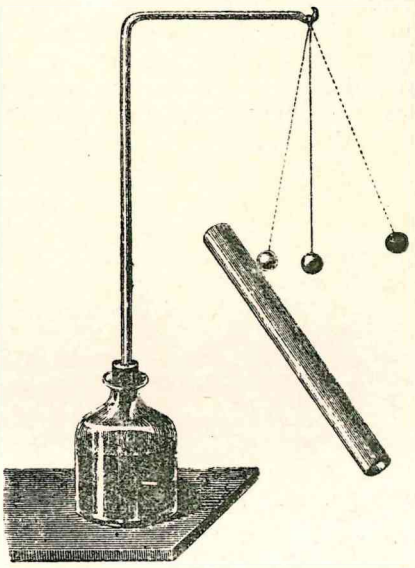
Elektrostatika.

3 §. Elektrinimas trynimu. Įelektrinamieji ir neįelektrinamieji kūnai. Laidininkai ir nelaidininkai (izoliatoriai). Dviejų rūšių elektra. Traukos ir atsparos jėgos. Elektroskopas. Elektrostatinė indukcija ir jos dėsniai. Abiejų rūšių elektros kiekių lygybė elektrinant kūnus. Elektros susitaupymas ant laidininkų paviršiaus. Elektros kiekio matavimas sauvališku elektros vienetu

Nuo seniausių laikų žinoma, kad gyvulių plaukai braukiami arba šukuojami sausame ore pasišiaušia, traška ir patamsy duoda net kibirkštėlių. Tas labai gerai buvo žinoma egiptiečiams, kurie gyveno sausame ir karštame klimate ir gerbė kates. Bet pirmutinis ėmė galvoti apie šituos dalykus vienas iš septynių senovės Graikijos galvočių Thales iš Mileto, kuris gyveno VI šimtmetyje prieš Kristų. Thaleso raštuose yra aprašyta, kad gintaro gabalas, patrintas kailiu arba milu, pritraukia lengvus daiktus, kaip medžio pjūvenas, lengvas skiedras, papirusą, gabaliukus ir t. t. Thales buvo Eigipte, ir ten jis pirmąsyk bus susipažinęs su panašiais reiškiniais. Kadangi gintaras graikų kalboje vadinasi elektron, tai Thales pavadino elektra tą gabumą patrinto milu gintaro traukti lengviems daiktams. Senovėje ir viduramžyje daugiau nebuvo kalbama ir nebuvo girdima apie panašius dalykus. Bet apie juos visiškai aiškiai kalba savo veikale „Apie magnetą ir magnetines jėgas“. Anglų karalienės Elzbietos leibmedikas Williamas Gilbertas iš Colchesterio. Jis rašo, kad visa eilė kūnų, patrintų kitais kūnais, įgyja tokį pat gabumą traukti lengviems daiktams kaip gintaras, patrintas gelumbe. Be to, jis konstatuoja, kad pritraukti lengvi kūnai prie patrinto gelumbe gintaro, kaip, pavyzdžiui, popieriaus gabaliukas arba kamščio gabaliukas, paskui atšoka nuo gintaro, tarytum, kažkokios jėgos spiriami. Gilbertas žino, kad šito gabumo traukti lengviems objektams galima suteikti stiklui, trinant jį oda arba šilku, lekui, sierai, kietai dervai ir t. t. trinant juos kailiu arba gelumbe. Jis taip pat konstatuoja, kad yra visa eilė kūnų, kaip,

pavyzdžiui, visi metalai, kuriems negalima suteikti trynimu šito gabumo. Šitą gabumą jis vadina, eidamas Thaleso pavyzdžiu, elektra ir kalba jau apie elektros jėgas, nedarydamas vienok esminio skirtumo tarp šitų elektros jėgų ir jo gerai ištirtų magnetinių jėgų. Jis nurodo visą eilę įelektrinamų kūnų, kaip šilkas, lekas, rezina, siera, kieta derva ir t. t. ir neįelektrinamųjų kūnų, kaip metalai.

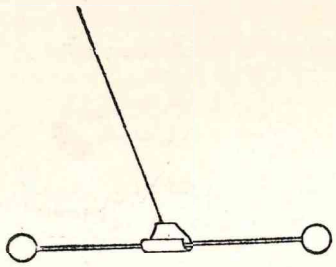
33 piešinys atvaizduoja paprasčiausią aparatą, vadinamąją elektrostatišką švytuoklę, kuriuo galima pasinaudoti norint pasipažinti su įelektrintų kūnų ypatybėmis. Čia mes turime stiklo bonką, į kurią su kamščio pagalba įdėtas užlenktas stiebas. Ant stiebo galo ant šilko siūlo pakabintas rutuliukas, geriausia iš putino šerdies. Patrynus stiklo stiebą (lazdą) šilku arba kieto kaučuko stiebą flanele arba gelumbe, tokie stiebai dar iš tolo pritraukia prie savęs rutuliuką. Paskui tasai rutuliukas atšoka nuo stiebo. Pritraukus stiklo arba kaučuko lazda 2 rutuliukus, jie, atšokę nuo lazdos, nebeužima vertikalinės būklės, bet yra atsilenkę vienas nuo antro, tarytum tarp jų veikia atsparos jėgos. Ta pačia elektrostatiška švytuokle galima konstatuoti, kad tik patrinta stiklo arba kaučuko lazdos vieta traukia putino rutuliuką, o kitos nepatrintos vietos netraukia. Atrodo taip, kad stiklas, kaučukas, siera ir t. t. palaiko elektrą tose vietose, kur ji sudaryta trynimu, neduoda jai išsiplėsti per visą paviršių. Antra vertus, paėmę metalinę lazdą arba metalinį stiebą ir, patrynę jį gelumbe arba šilku, mes konstatuosime, kad toksai stiebas visiškai netraukia prie savęs putino rutulio. Bet Gray 1729 metais aprūpino tokį metalinį (varinį) stiebą rankena iš lako ir turėdamas lako rankeną rankoje ir patrynęs vario stiebą gelumbe jis konstatavo, kad varis kaip patrintas stiklas arba lakas traukia lengvus daiktus, taigi traukia ir putino rutuliuką. Taigi Gray iš savo bandymų padarė išvadą, kad visi kūnai galima trynimu įelektrinti, tiktai vieni iš tų kūnų palaiko elektrą toje vietoje, kur ji sudaryta trynimu, neduodant jai išsiskleisti per visą paviršių, o ant kitų kūnų, kaip metalai, toje ar kitoje vietoje trynimu sudaryta elektra tuojau išsiskleidžia per visą paviršių. Prie tokių kūnų priklauso ir žmogaus kūnas ir žemė. Taigi laikydami varinį stiebą rankoje ir trindami kitą jo galą gelumbe arba flanele, mes negausime jokios elektros, nes visa sudaryta elektra tuojau išsiskleis per visą žemės paviršių ir todel jos efektas bus be galo silpnas. Tokius kūnus, kaip metalai, kurie nesudaro jokių kliūčių išsiskleisti elektrai ant jų paviršiaus, Gray pavadino elektros laidininkais, arba konduktoriais (Gilberto neįelektrinamieji kūnai), o kitus kūnus, kaip stiklas, rezina, siera, lakas, kieta derva ir t. t. Gray pavadino izoliatoriais arba elektros nelaidininkais, nes jie sudaro didelių kliūčių išsiskleisti elektrai ant jų paviršiaus (tai yra Gilberto įelektrinamieji kūnai). Dabar suprantama, kodel reikia laidininkas aprūpinti rankena iš nelaidininko, arba izoliatoriaus, kad galima būtų įelektrinti tas laidininkas trynimu. Reikia vienok pasakyti, kad griežto perėjimo nuo izoliatoriaus į laidininkus nėra. Mes turime visą eilę kūnų, kaip žmogaus kūnas, medis, akmens, kurie nors ir ne taip lengvai kaip metalai, vienok leidžia elektrai išsiskleisti ant jų paviršiaus. Tokie kūnai vadinasi puslaidininkai. Prie puslaidininkų priklauso ir kai kurie skystimai, kaip, pavyzdžiui, šarmų, rūgščių ir druskų skiediniai. Kai kurie chemiškai tyrūs skystimai, kaip vanduo, spiritas, kerosinas ir tyros skystos rūgštys yra izoliatoriai. Sausas oras ir dauguma dujų irgi yra izoliatoriai. Visų geriausias izoliatorius yra tuštuma. Antra vertus, tokie izoliatoriai, kaip stiklas arba kietas kaučukas tampa elektros laidininkais, kada, sakysime, jų paviršiai nešvarūs, apsiausti dulkėmis. Stiklas, kaip mes žinome, smarkiai okliuduoja orą ir vandens garus. Toksai stiklas leidžia elektrą, ir todel norint, kad pasisektų



33 pieš.

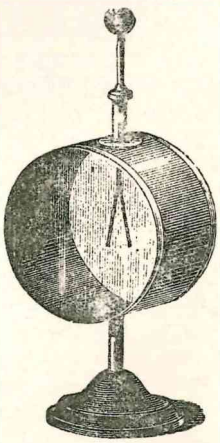
bandymai stiklo elektrinimo trynimu, reikia stiklo paviršius nuvalyti nuo dulkių ir, be to, pašildyti stiklas, kad jo paviršius neturėtų drėgmės. Jeigu kieto kaučuko (ebonito) lazda laikoma šviesoje, tai veikiant šviesai ant kaučuko paviršiaus įvyksta tam tikros chemiškos atmainos ir toksai kaučukas darosi elektros laidininku. Taigi norint, kad su kaučuko stiebu pasisektų elektrostatiški bandymai, reikia laikyti kaučukas patamsy ir taip, kad jo paviršius neapdulkėtų.

Kiek vėliau, būtent 1733 metais, Dufay konstatavo, kad yra dvi rūšys elektros. Galima įsitikinti, kad taip yra, paėmus stiklo ir kaučuko lazdas ir pasinaudojus elektrostatiška švytuokle, kurią atvaizduoja 33 piešinys. Patrynę stiklą šilku, paliesime juo putino rutulį ir palaikysime stiklą ir rutulį kontakte tol, kol rutulys atšoks nuo stiklo. Patrinsime dabar kaučuko lazdą flanele ir artinsime ją prie putino rutulio. Rutulys dabar iš tolo smarkiai trauksis prie kaučuko lazdos. Artindami prie to paties rutulio stiklo lazdą mes pastebėsime, kad putino rutulys tolinasi nuo stiklo. Putino rutuliui mes suteikėme elektros nuo stiklo, ir mes matome, kad putino rutulys stumiamas nuo stiklo, tuomet kaip jis traukiamas prie kaučuko. Taigi išeina, kad stiklo elektra ir kaučuko elektra yra nevienodos ir reiškia priešingą veikimą. Dar ryškiau mes pastebėsime šitą skirtumą, jeigu mes patrintą šilku stiklo stiebą įdėsime gulsčioje būklėje į ienas, padėtas ant dviejų šilko siūlų, kaip rodo 34 piešinys. Paėmus kitą stiklo stiebą, patrynus jį šilku ir artindami prie stiklo stiebo galo, įdėto į ienas, mes pastebėsime, kad tasai stiklo galas tolinasi nuo stiklo stiebo, kurį mes laikome rankoje. Taigi tarp dviejų kiekių stiklo elektros veikia atsparos jėgos. Jeigu mes prie įdėto į ienas trynimu įelektrinto stiklo stiebo artinsime trynimu įelektrintą kaučuko stiebą, tai stiklio galas artinsis prie kaučuko stiebo galo ir net visiškai bus pritrauktas. Taigi tarp stiklo elektros ir kaučuko elektros veikia traukos jėga. Dufay konstatavo, kad vieni iš kūnų, trinant juos, įgyja stiklo elektros, kiti kaučuko arba dervos elektros, ir iš pradžios buvo kalbama apie stiklo elektrą ir dervos elektrą. Kadangi tos dvi elektros veikia priešingai, tai paskui pradėta vadinti stiklo elektrą teigiama elektra, suteikiant jai ženklą +, o kaučuko arba dervos elektrą — neigiama elektra, suteikiant jai ženklą —.



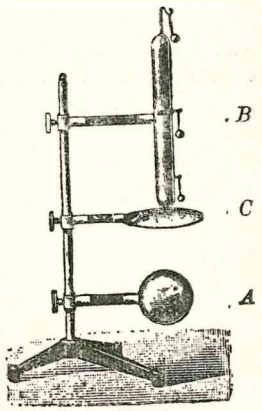
34 pieš.

Mes neturime jutimo organo tiesiogine elektriškos kūnų būklės percepcijai, lygiai kaip neturime organo tiesiogine magnetiškos būklės percepcijai. Bet remiantis jau išdėstytomis fizinių kūnų ypatybėmis elektriškos būklės atžvilgiu galima padirbti paprastas aparatas, kuriuo galima konstatuoti, ar kūnas įelektrintas ar ne, ir, jeigu įelektrintas, tai kokia elektra. Toksai aparatas vadinasi elektroskopas (graikų žodis, reiškia: elektros akis). Šitą aparatą atvaizduoja 35 piešinys. Mes čia turime dėžę, metalinę, cilinderio pavidalu ant štatyvo. Ta dėžė uždaryta iš priekio ir iš užpakalio stiklais. Viršuj dėžės randasi vamzdis, pro kurį prakištas izoliuotas metalinis stiebas su rutuliuku ant viršaus ir su dviem lapeliais iš vario, aluminio, sidabro arba aukso, arba net su dviem lapeliais iš popieriaus ant apatinio galo. Kad šitas stiebas būtų geriau izoliuotas, jis aprūpintas žiedu arba mufta iš gintaro, kurio pagalba prakišamas pro metalinį elektroskopo vamzdį, taip kad stiebas visiškai neliečia to metalinio vamzdžio. Labai dažnai ant viršutinio stiebo galo vietoj rutulio randasi metalinis skritulys, kuris tada vadinasi elektroskopo lėkšte. Paprasčiausią elektroskopą mes turėsime, paėmę stiklo bonką, užkimšę bonką kamščiu su skyle ir prakišę per kamščio skylę izoliuotą gintaro muftos pagalba metalinį stiebą su rutuliuku ant viršutinio galo ir su dviem lapeliais ant apatinio galo. Palietę elektroskopo rutulį šilku arba amalgama patrinta stiklo lazda mes suteiksime



35 pieš.

rutuliui stiklo elektros. Kadangi rutulys ir stiebas ir lapeliai elektros laidininkai, tai suteikta teigiama (stiklo) elektra tuojau išsiskleis per visą stiebo ir lapelio paviršių. Tuo būdu lapeliai gaus teigiamos elektros, tarp jų veiks atsparos jėga ir todel lapeliai persiskirs ir juo didesniu kampu, juo daugiau bus suteikta elektros stiebo rutuliui. Vadinasi, elektroskopo pagalba galima ne tik konstatuoti, ar kūnas įelektrintas ar ne, bet ir išspręsti apie suteiktą elektroskopui elektros kiekį. Bet nėra reikalo paliesti patrinto stiklo lazda elektroskopo rutulio, kad elektroskopo lapeliai persiskirtų. Artinant patrintą stiklo lazdą arba patrintą kaučuko lazdą tie lapeliai persiskiria, ir juo labiau, juo arčiau nuo elektroskopo rutulio bus lazda. Šituo atveju elektroskopo lapeliai įelektrinami indukcijos keliu.

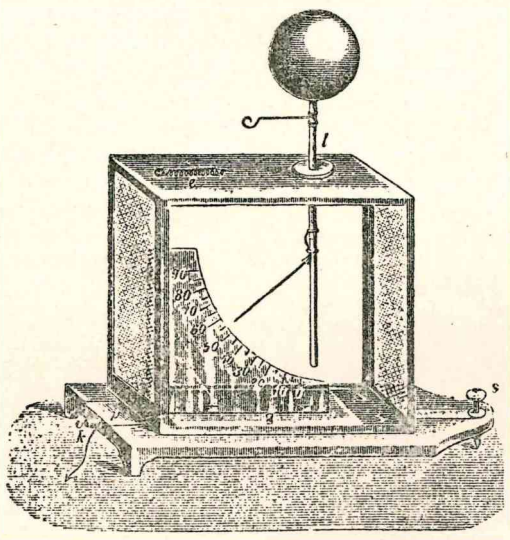


36 pieš.

Kad suprastume elektrostatinės indukcijos veikimą, pasinaudosime Riesso aparatu, kurį atvaizduoja 36 piešinys. Mes čia turime du konduktorius, arba laidininkus, vieną A rutulio pavidalu, antrą B cilinderio pavidalu, pastatytus arti vienas nuo antro. Cilinderis aprūpintas trimis lapeliais, iš kurių vienas prilipdytas ant pat cilinderio vidurio, o du kiti arčiau prie cilinderio galų arba trimis elektriškomis švytuoklėmis, kaip rodo piešinys. Ir rutulys ir cilinderis izoliuoti, vadinasi, aprūpinti kotais iš stiklo, lako arba ebonito. Užtaisysime rutulį, sakysime, teigiama elektra, palietę jį stiklo lazda, kuri prieš tai buvo patrinta amalgama. Mes pastebėsime tuojau, kad lapeliai arba švytuoklės ant galų cilinderio atsilenks mažesniu arba didesniu kampu nuo cilinderio paviršiaus. Artindami prie atlenkto lapelio, kuris randasi ant cilinderio galo, artimesnio nuo rutulio patrintą stiklo lazdą, mes pastebėsime, kad ta lazda traukia lapelį prie savęs ir todel lapelis atsilenkia nuo cilinderio paviršiaus dar smarkiau. Artindami tą pačią stiklo lazdą prie lapelio ant tolimesnio nuo rutulio cilinderio galo, mes pastebėsime, kad tas lapelis stumiasi nuo stiklo lazdos. Taigi padėjus arti nuo cilinderio teigiamai įelektrintą metalinį rutulį, ant abiejų cilinderio galų susidaro elektra, nes lapeliai atsilenkia nuo cilinderio paviršiaus. Ant cilinderio vidurio nėra elektros, nes ten lapelis neatsilenkia nuo cilinderio paviršiaus. Eksperimentas su stiklo lazda rodo, kad ant cilinderio galo, arčiau nuo teigiamai įelektrinto rutulio, susidaro neigiama elektra, o ant cilinderio galo, toliau nuo rutulio, susidaro teigiama elektra. Jeigu dabar atitolintume teigiamai užtaisytą rutulį arba paliestume jį pirštu, taip kad jo elektra, kaip sakoma, nueitų į žemę (arba, tiksliau kalbant, pasidalytų ant visos žemės paviršiaus), tai lapeliai tuojau prisiglaus prie cilinderio paviršiaus, vadinasi, elektriška cilinderio būklė tuojau išnyks. Tai rodo, kad, priartinus prie neutralaus cilinderio užtaisytą rutulį, abidvi elektros susidaro tam pačiam kieky. Mes čia turime elektros susidarymą indukcijos keliu, ir elektrinimas indukcijos keliu yra visais atžvilgiais panašus į aprašytą jau 1 § magnetinimą indukcijos keliu. Mes galime pasakyti, kad neutrali kūno būklė elektros atžvilgiu charakterizuojasi tuo, kad kiekvienam kūno elemente randasi tie patys kiekiai teigiamos ir neigiamos elektros. Priartinus prie neutralaus kūno užtaisytą teigiamai kūną, neutralaus kūno neigiama elektra bus pritraukta, o teigiama elektra bus atstumta. Vadinasi, neigiama elektra susitaupys ant artimesnio nuo užtaisyto kūno neutralaus kūno galo, o teigiama elektra ant tolimesnio. Kiekiai neigiamos ir teigiamos elektros bus lygūs. Šitoki indukcija įvyks ir tada, kada, sakysim, tarp rutulio ir cilinderio (žiūr. 36 pieš.) bus ne oras, o stiklas (stiklo skritulys C), lekas, ebonitas, aplamai, koksai nors izoliatorius. Taigi indukcija veikia tuštumoje ir veikia per izoliatorius, kurie šituo atveju vadinasi dielektrikai. Iš to, kas anksčiau pasakyta apie laidininkus ir izoliatorius, aišku, kad indukcijos keliu lengviausiai įvyksta perskyrimas abiejų elektrų laidininkuose ir sunkiausiai izoliatoriuose arba dielektrikuose. Cilinderio neigiama elektra (36 pieš.) pritraukta teigiamos elektros rutuliu. Taigi, ta elektra yra surišta. Teigiama cilinderio elektra atstumta arba laisva. Taigi, palietę pirštu cilinderį bet kurioje vietoje, mes nuvesime teigiamą elektrą į žemę, ir lapelis ant tolimesnio cilinderio galo prisiglaus prie cilinderio

paviršiaus. Jeigu dabar atitolintume rutulį su teigiama elektra arba paliestume tą rutulį pirštu, tai neigiama cilinderio elektra nebebus surišta ir tuojau išsiskleis per visą cilinderio paviršių ir todel visi trys lapeliai atsilenks tuo pačiu kampu nuo cilinderio paviršiaus. Cilinderis bus įelektrintas neigiama elektra indukcijos keliu. Vadinasi, elektrindami kūną indukcijos keliu mes visuomet turėsime ant įelektrinto kūno priešingo ženklo elektrą kaip elektrinančio kūno arba induktoriaus elektra.

Dabar mes grįšime prie elektroskopo (35 pieš.). Jau mes matėme, kad nėra reikalo paliesti elektroskopo rutulio patrinta stiklo lazda, kad lapeliai elektroskopo persiskirtų. Jie jau persiskiria artinant lazdą prie elektroskopo rutulio. Dabar mums tai suprantama. Artinant patrintą stiklo lazdą prie elektroskopo rutulio įvyksta elektrostatinė indukcija: neigiama elektroskopo stiebo elektra pritraukiama stiklo teigiamos elektros ir surišama, o teigiama elektra nustumiama ir kaipo laisva pasidalija ant lapelių paviršiaus, ir lapeliai, būdami užtaisyti ta pačia elektra, stumiasi vienas nuo antro ir persiskiria. Taigi palietę patrinto stiklo lazda elektroskopo rutulį, mes turėsime lapeliuose teigiamą elektrą. Neliesdami patrinto stiklo lazda elektroskopo rutulio, o laikydami tik ją netoli nuo to rutulio, mes turėsime lapeliuose irgi teigiamą elektrą, sudarytą indukcijos keliu. Iš tikrųjų, artinant prie rutulio kitą patrintą stiklo lazdą lapeliai persiskirs smarkiau, didesniu kampu, artinant patrintą kaučuko lazdą lapeliai smarkiau supuls, vadinasi, bus persiskyrę mažesniu kampu. Tai reiškia, kad lapeliuose mes turime teigiamą elektrą. Bet ta elektra nesurišta. Todel palietę pirštu elektroskopo rutulį, mes tą elektrą nuleisime į žemę ir elektroskopo stiebe pasiliks tik surišta neigiama elektra. Jeigu dabar tuo pačiu laiku atitolintume nuo rutulio užtaisytą stiklo lazdą ir pirštą, tai lapeliai vėl persiskirs. Bet dabar jau jie bus užtaisyti neigiama elektra. Atitolinus pirštą ir stiklo lazdą nuo rutulio, neigiama elektra nebebus surišta ir tuojau išsiskleis per visą stiebą ir lapelių paviršių ir todel lapeliai persiskirs. Tokiu būdu elektroskopas bus užtaisytas indukcijos keliu ir bus užtaisytas priešinga elektra kaip induktoriaus elektra (šituo atveju užtaisyta stiklo lazda). Iš tikrųjų, artinant dabar prie elektroskopo patrintą stiklo lazdą lapeliai supuls, artinant patrintą kaučuko lazdą jie persiskirs smarkiau. Tas rodo, kad dabar lapeliai užtaisyti neigiama elektra. Štai mums reikia nustatyti, kokia elektra užtaisytas tas ar kitas kūnas. Paliesime šituo kūnu elektroskopo rutulį. Elektroskopo lapeliai persiskirs, nes jiems bus suteikta dalis kūno elektros. Paimsime ebonito lazdą ir patrynę ją flanele artinsime prie elektroskopo rutulio. Tegu artinant lapeliai persiskiria smarkiau. Tai reiškia, kad jie užtaisyti neigiama elektra. Vadinasi, bandomasai kūnas irgi užtaisytas neigiama elektra. Jeigu artinant patrintą kaučuko arba ebonito lazdą lapelių persiskirimo kampas mažėja, tai reiškia, kad lapeliai užtaisyti teigiama elektra. Taigi elektroskopu mes ne tik galime konstatuoti, ar kūnas įelektrintas ar neutralus, bet įrodyti, kokia elektra kūnas įelektrintas ir pagaliau net spręsti apie tos elektros kiekį iš lapelių persiskyrimo kampo.



37 pieš.

Kad galima būtų tiksliau spręsti apie elektros kiekį, reikia turėti jautrus elektroskopas, aprūpintas skala, ant kurios galima būtų atskaityti lapelių atsilenkimo kampas. Tokį jautrų elektroskopą, pritaikintą matavimams, atvaizduoja 37 piešinys. Mes čia turime metalinę dėžę su stiklo šonais iš pryšakio ir iš užpakalio. Per viršų tos dėžės prakištas metalinis stiebas. Tasai stiebas aprūpintas žiedu iš gintaro. Kaip rodo piešinys, tasai

žiedas įdedamas į atatinkamą skylę dėžės viršuje. Ant viršutinio stiebo galo randasi didokas rutulys (vietoj rutulio gali būti didokas metalinis skritulys), o prie apatinio stiebo galo, kaip rodo piešinys, judomai prijungtas sidabro arba aukso plonas lapelis. Suteikus kontaktu arba indukcijos keliu elektrą stiebo rutuliui, stiebo apatinis galas ir lapelis bus įelektrinti ta pačia elektra. Todel lapelis atsilenks nuo stiebo ir juo didesniu kampu, juo daugiau bus suteikta elektros. Kad galima būtų nustatyti atsilenkimo kampas, dėžėje padėta skala su padalijimais ant stiklo, taip kad atsilenkusio lapelio galas randasi ties ta skala. Toksai elektroskopas dažnai vadinamas aukso lapelio elektroskopu.

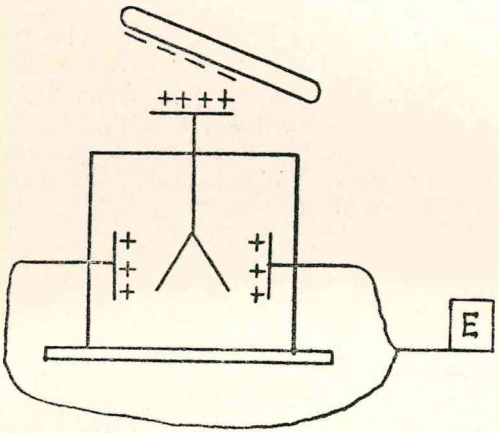
Paimsime dabar stiklo lazdą ir kaučuko lazdą ir patrinsime jas gerai viena antra. Palikdami abidvi lazdas kontakte, paliesime jomis jautraus elektroskopo rutulį. Lapelis neatsilenks. Atitolinsime nuo rutulio vieną lazdų, sakysime, kaučuko lazdą, ir paliksime kontakte su rutuliu stiklo lazda. Elektroskopo lapelis atsilenks tam tikru kampu. Atitolinsime stiklo lazdą ir paliesime elektroskopo rutulį kaučuko lazda. Lapelis prisiglaus prie stiebo. Vadinasi, stiklo elektra, suteikta elektroskopo stiebui, bus neutralizuota kaučuko arba ebonito elektra. Tai reiškia, kad trinant stiklą ir ebonitą ant jųjų susidaro priešingų ženklų elektros, bet tam pačiam kieky. Iš tikrųjų, palietę elektroskopo rutulį stiklo lazda ir atskaitę atsilenkimo kampą, atitolinsime tą stiklo lazdą ir paliesime pirštu elektroskopo rutulį. Vadinasi, mes nuvesime teigiamą elektrą iš elektroskopo stiebo į žemę. Atitolinsime dabar pirštą ir paliesime elektroskopo rutulį kaučuko lazda. Mes dabar suteiksime elektroskopo stiebui neigiamos elektros ir pamatysime, kad lapelis atsilenks tuo pačiu kampu, kaip jis buvo atsilenkęs, kada elektroskopo rutulys buvo paliestas stiklo lazda. Norėdami įrodyti, kad trinant du kūnus visuomet ant jų susidaro priešingų ženklų elektra tam pačiam kieky, galime vartoti tuos kūnus nedidelių skritulių pavidalu, aprūpinę rankenomis iš izoliuojamos medžiagos. Patrynus tokius du skritulius vienas antruoju ir palietus jais, neperskiriant jų elektroskopo rutulį, lapelio atsilenkimo nebus. Perskyrus juos ir palietus vienu iš jų elektroskopo rutulį, lapelis atsilenks tam tikru kampu, palietus kitu skrituliu — lapelio atsilenkimas bus panaikintas.

Aprašyti čia bandymai iš svarbiausių, vartojamų elektrostatikoje kūnų, leidžia mums sudaryti tokią trynimo eilę: plaukai (ypatingai katės kailis ir katės uodega), poliruotas stiklas, vilnos, popierius, šilkas, dūminis stiklas, kaučukas, derva (lakas), gintaras siera, metalai.

Trinant bet kuriuos du kūnus iš šitos eilės, teigiama elektra susidaro visuomet tame kūne, kuris šitoje eilėje užima pirmesnę vietą, o neigiama elektra tame kūne, kuris užima tolimesnę vietą. Taip trinant poliruotą stiklą ir šilką, ant stiklo bus teigiamos elektros, o ant šilko neigiamos elektros. Trinant vilnas ir kaučuką, ant vilnų bus teigiamos elektros, ant kaučuko bus neigiamos. Trinant stiklą ir metalą, ant stiklo bus teigiamos elektros, ant metalo bus neigiamos elektros. Juo toliau šitoje vietoje randasi du kūnai vienas nuo antro, juo smarkesnis veikimas trinant tuos kūnus vieną antruoju elektrinimo atžvilgiu. Bet visais atvejais ant vieno kūnų susidaro teigiamos elektros, ant antro neigiamos elektros tam pačiam kieky. Mes jau anksčiau matėme, kad perskiriant neutralaus kūno elektra indukcijos keliu abidvi elektros rūšys susidaro tam pačiam kieky. Tas yra viena elektriškos būklės ypatybių.

Kad geriau suprastume visas elektrostatinės indukcijos smulkmenas ir tą faktą, kad elektriškasai kūnų padėjimas visuomet reiškiasi tuo, kad vienoje vietoje atsiranda tam tikras kiekis teigiamos elektros, o kitoje vietoje toksai pat kiekis neigiamos elektros, pasinaudosime dar elektroskopu, kurį atvaizduoja 38 piešinys. Čionai mes turime stiklo cilindrinį indą, užvožtą dangčiu, per kurį prakištas izoliuotas gintaro žiedu metalinis stiebas. Ant viršutinio to stiebo galo randasi metalinis skritulys, o prie apatinio jo galo prijungti du aukso lapeliai. Be to, per indo šonus prakišti du metaliniai diskai ant metalinių stiebų, taip kad elektroskopo lapeliai randasi tarp tų dviejų diskų. Patrinsime flanele ebonito lazdą ir priartinsime ją, kaip rodo 38 piešinys, prie elektroskopo viršutinio disko arba lėkštės. Indukcijos keliu ta lėkštė bus įelektrinta teigiamai, o elektroskopo lapeliai neigiamai. Lapelių neigiama elektra pritrauks teigiamą elektrą šoninių diskų, o tų šoninių diskų neigiama elektra bus nuvarya į stalą, ant kurio stovi elektroskopas, į grindis ir aplamai į žemę. Tegu žemę atvaizduoja plokštuma

E. Sujungę šoninius diskus su šita plokštuma laidininkais (vielomis) mes tuo parodysime, kad šoninių diskų neigiama elektra nuleidžiama į žemę. Aplamai, norint nuleisti į žemę elektrą nuo bet kurio kūno, tasai kūnas prijungiamas viela prie vandens arba dujų vamzdžių kambary, kuriame daromi elektriški bandymai. Aukso lapeliai persiskirs tam tikru kampu. Mes anksčiau sakėme, kad jie bus užtaisyti ta pačia elektra ir, vadinasi, stumsis vienas nuo antro. Bet dabar mes galime pasakyti, kad jie persiskirs todel, kad jie bus traukiami į priešingas puses teigiamos elektros ant šoninių elektroskopo diskų. Bet, jeigu elektroskopas ir neturėtų tokių šoninių diskų, tai vis tiek lapeliai indukuos teigiamą elektrą ant stiklo, jeigu tas stiklas drėgnas arba dulkėtas. O jeigu stiklas visiškai švarus ir sausas ir gerai izoliuoja, tai tada lapelių neigiama elektra indukuos teigiamą elektrą ant artimiausių laidininkų paviršių, taip kad tie paviršiai trauks lapelius prie savęs ir lapeliai persiskirs. Aišku, kad turėdami elektroskopą su dviem šoniniais metaliniais diskais, mes turėsime ypatingai jautrų instrumentą, nes juo arčiau bus tie diskai nuo lapelių, juo smarkiau bus traukiami lapeliai prie tų diskų ir juo didesniu kampu jie persiskirs net ir tada, kada tie lapeliai bus silpnai užtaisyti elektra. Laikydami neigiamai užtaisytą ebonito lazdą arti nuo viršutinio ebonito disko ir palietę pirštu tą diską, mes nuleisime į žemę laisvą neigiamą lapelių elektrą. Tas pats bus pasiekta, jeigu mes paliesime šoniniais diskais lapelius. Lapeliai tada supuls, nes jų neigiama elektra bus neutralizuota teigiama elektra disku arba liečiant pirštu teigiama elektra apylinkos kūnų, kurie yra kontakte su žeme. Tai reiškia, kad neigiama elektra bus nuleista į žemę. Jeigu dabar atimsime pirštą nuo elektroskopo lėkštės ir atitolinsime ebonito lazdą (arba pašalinsime kontaktą tarp šoninių diskų ir lapelių ir atitolinsime ebonito lazdą), tai ant elektroskopo lėkštės pasiliks teigiama elektra, kuri tuojau išsiskleis per visą stiebo ir lapelių paviršių ir lapeliai persiskirs. Jie dabar bus užtaisyti teigiama elektra. Jau anksčiau pasakyta, kaip tokiu elektroskopu su užtaisytais lapeliais galima pasinaudoti, kad konstatuotume, ar kūnas užtaisytas elektra ar neutralus, ir jeigu užtaisytas, tai kokia elektra.



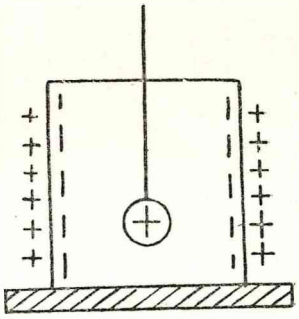
38 pieš.

Mes jau anksčiau matėme, kad artinant prie pakabinto ant šilkinio siūlo putino rutuliuko, sakysime, įelektrintą ebonito lazdą, tas rutuliukas traukiasi prie lazdos, paliečia ją ir paskui atšoka nuo jos (žiūr. 33 pieš.). Dabar nesunku tai suprasti. Artinant neigiamai įelektrintą ebonito lazdą prie putino rutuliuko veikia elektrostatinė indukcija. Teigiama rutuliuko elektra, ebonito lazdos neigiamos elektros traukiama, susitaupo ant artimiausio nuo lazdos rutuliuko paviršiaus, o neigiama rutuliuko elektra, ebonito lazdos neigiamos elektros stumiama, susitaupo ant tolimesnio nuo lazdos rutuliuko paviršiaus. Kadangi teigiama rutuliuko elektra randasi arčiau nuo lazdos neigiamos elektros, kaip neigiama rutuliuko elektra, tai traukos jėga tokiu atveju yra didesnė kaip atsparos jėga ir rutuliukas pritraukiamas prie lazdos. Bet palietus lazda, rutuliuko teigiama elektra bus neutralizuota lazdos neigiamos elektros, pasiliks neigiamos elektros perteklius ant lazdos ir indukuota neigiama elektra ant rutuliuko, ir veikiant atsparos jėgai rutuliukas atšoks nuo lazdos. Galime šitą rutuliuko atšokimą nuo lazdos interpretuoti ir šitaip. Ir rutuliukas ir lazda, įelektrinti neigiamai, indukuos elektrą ant artimiausių apylinkos kūnų, sujungtų su žeme. Vadinasi, ir rutuliukas ir lazda bus tempiami į priešingas puses tų kūnų teigiama elektra ir todel jie persiskirs.

Išaiškinti aprašytiems čia trynimo elektros ir indukcijos elektros fenomenams jau nuo vidurio XVIII šimtmečio buvo sugalvota įvairios hipotezės. Iš tų hipotezių trum-

pai paminėsime čia tik dvi: dualistinę Symmerio hipotozę ir unitarinę Franklino. Symmeris sako, kad visi neutralūs kūnai turi teigiamos ir neigiamos elektros tam pačiam kieky. Jis įsivaizdavo abidvi elektros rūšis dviejų skystimų pavidalu be svorio (imponderabilia). Tarp to paties skystimo dalelių veikia atsparos jėga, tarp vieno ir antro skystimo dalelių veikia traukos jėga, taip kad neutraliame kūne abudu skystimai yra visai susimaišę, kiekvienam bet kurio kūno elemente randasi tas pats kiekis vieno ir kito skystimo, kurie visai neutralizuoja vienas antrą, taip kad išorėje nėra jokio mechaniško veikimo. Elektriškasai padėjimas susidaro tada, kada fizinis kūnas įgyja perteklių to ar kito skystimo. Franklinas tvirtina, kad esanti tik viena rūšis elektros, tik vienas be svorio skystimas, kuris tam tikram kieky randasi visuose neutraliuose kūnuose. Elektrinant kūnus trynimu arba indukcijos keliu vieni kūnai įgyja to skystimo daugiau kaip norma, kiti nustoja dalies to skystimo, taip kad jų elektros kiekis darosi mažesnis, kaip norma. Taigi pirmuoju atveju mes gauname teigiamai įelektrintą kūną, o antruoju neigiamai įelektrintą kūną. Reikia pasakyti, kad elektrostatiškų fenomenų interpretacijai yra patogesnė Symmerio dualistinė teorija, bet, kaip mes pamatysime vėliau, Franklino unitarinė hipotezė labiau atatinka tikrenybei, t. y. geriau suderinama su nustatytais faktais.

Kita labai svarbi elektriškos būklės ypatybė yra ta, kad elektrinant kūnus tuo ar kitu būdu elektra visuomet susitaupo ant laidininkų paviršiaus, vadinasi, elektriškasai veikimas visuomet reiškiasi ribose tarp laidininkų ir izoliatorių. Tai galima įrodyti įvairiais būdais. Paimsime siaurą gilų metalinį indą, cilinderio pavidalu, ir pastatysime jį ant parafino kulbės, kad jis būtų izoliuotas (žiūr. 39 pieš.). Užtaisysime šitą indą elektra, palietę jį, sakysime, amalgama patrinta stiklo lazda. Taigi indas bus užtaisytas teigiama elektra. Jeigu mes dabar paimsime nedidelį metalinį skritulį arba rutuliuką ant koto iš izoliuojamos medžiagos, sakysime, ant koto iš ebonito (toksai rutuliukas arba diskas vadinamas bandymo rutuliuku, arba bandymo disku), paliesime tuo rutuliuku indo sienas iš vidaus ir ištraukę rutuliuką iš indo paliesime juo rutulį arba lėkštę elektroskopo, tai elektroskopo lapeliai nepersiskirs. Vadinasi, ant bandymo rutuliuko nebus jokios elektros. Tai reiškia, kad ant išvidinio indo paviršiaus nėra elektros. Nesunku įrodyti, kad visa elektra randasi ant išorinio indo paviršiaus. Palietę tą išorinį paviršių bandymo rutuliuku ir paskui palietę tuo rutuliuku elektroskopo lėkštę, mes pamatysime, kad elektroskopo lapeliai persiskirs, ir žinomu jau būdu galėsime įrodyti, kad bandymo rutuliukas įelektrintas ta pačia elektra kaip ir indo išorinis paviršius. Taigi pasirodo, kad indo metalas veikia kaip ekranas, kuris apgina išvidinę indo dalį nuo išorinės elektrofikacijos.



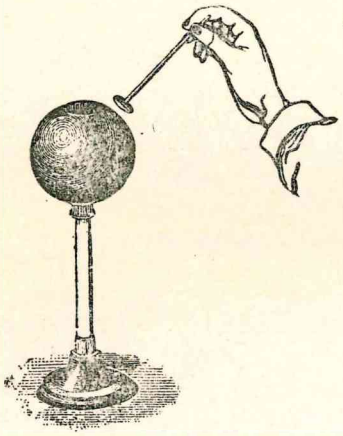
39 pieš.

Tą patį faktą mes galime demonstruoti ir šiuo būdu. Palikdami metalinį diską neužtaisytą (žiūr. 39 pieš.), įkišime į jį užtaisytą, sakysime, teigiamai metalinį rutulį ant izoliuotos rankenos. Paliesime dabar šituo rutuliu išvidines indo sienos ir ištrauksime rutulį iš indo. Ant rutulio nebebus visiškai elektros, kaip tai galima įsitikinti palietus rutuliu elektroskopo lėkštę. Paliečiant užtaisytu rutuliu iš vidaus indo sienas, to rutulio paviršius sudaro dalį indo išvidinio paviršiaus ir todel elektra nuo to rutulio kaip ir nuo išvidinio paviršiaus tuojau atsiduria ant išorinio indo paviršiaus. Bandymo rutuliuku galima toliau įrodyti, kad ant išvidinio indo paviršiaus irgi nėra jokios elektros, o visa teigiama elektra randasi ant išorinio indo paviršiaus.

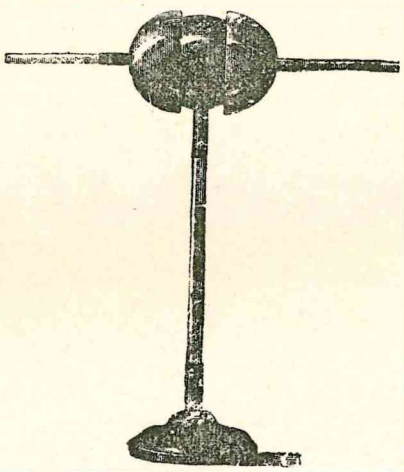
Įkišus teigiamai užtaisytą rutuliuką į indą ir neliečiant rutuliuku indo sienų, veiks elektrostatinė indukcija: neigiama elektra atsiras ant išvidinių indo sienų ir teigiama ant išorinių, kaip rodo 39 piešinys. Bet ir šituo atveju indo metalas veikia kaip ekranas, kuris apgina išvidinę indo dalį nuo išorinio veikimo, nes teigiama elektra arba teigiamos elektros krovinys, kuris randasi ant išorinio indo paviršiaus, pasilieka toje pačioje būklėje, nepaisant to, kokioje vietoje randasi teigiamai užtaisytas rutulys inde ar arti

nuo dugno, ar arti nuo indo krantų. Galime šitą indą uždėti ant elektroskopo lėkštės ir įkišti į jį teigiamai užtaisytą rutulį. Elektroskopo lapeliai persiskirs tam tikru kampu ir tas kampas nesikeis įleidžiant užtaisytą rutulį giliau į indą ar traukiant jį arčiau prie indo krantų, ypač jeigu indas bus užvožtas dangčia su skyle, per kurią galima įleisti arba ištraukit užtaisytą rutulį.

Elektros susitaupymas ant laidininkų paviršiaus yra vienas iš esminių dalykų, surištų su elektros prigimtimi, ir todel aprašysime čia dar keletą eksperimentų tam faktui įrodyti. Paimsime tuščią metalinį rutulį ant stiklinės kojos (kad izoliuotų), kuri įdėta į medinį padėklą (žiūr. 40 pieš. iš kairės pusės). Užtaisysime šitą metalinį rutulį iš vidaus, sakysime, teigiama elektra. Paėmę bandymo skrituliuką, įkišime jį per rutulio skylę, neliesdami skylės krantų, į rutulio vidurį ir paliesime tuo skrituliuku rutulį iš vidaus. Ištraukę bandymo skrituliuką, neliesdami rutulio skylės krantų, iš rutulio ir palietę paskui tuo skrituliuku elektroskopą mes konstatuosime, kad ant skrituliuko elektros nėra. Palietę tuo pačiu bandymo skrituliuku užtaisytą rutulį iš oro, mes su pagalba elektroskopo galėsime konstatuoti ant skrituliuko tą pačią elektrą, kuri suteikta rutuliui. Vadinasi, suteikiant rutuliui iš vidaus elektros, ji tuojau atsiduria ant išorinio rutulio paviršiaus. Tą patį mes galime įrodyti, paėmę masingą metalinį rutulį ant stiklinės kojos, įdėtos į medinį padėklą, ir užtaisę šitą rutulį, sakysime, teigiama elektra. Paimsime dabar du tuščius pusrutulius ant kotų iš stiklo arba ebonito, pritaikintus taip, kad jais galima būtų visiškai užkloti masingas rutulys, kaip rodo 40 piešinys iš dešinės pusės. Apsiausime pusrutuliais masingą rutulį ir paskui nuimsime tuos pusrutulius nuo masingo rutulio. Elektroskopo pagalba mes galėsime konstatuoti, kad ant masingo rutulio nebeliko jokios elektros ir visa elektra atsidūrė ant išorinių pusrutulių paviršių. Įsivaizduokime, kad mes kokiu nors būdu suteiksime tam tikrą kiekį teigiamos elektros pačiam viduriui masingo rutulio. Kadangi rutulys iš laidininko, tai elektros dalelės stumiamos viena nuo kitos be jokių klūčių skleisis rutulio vidury į visas puses, kol pasieks rutulio paviršių. Rutulio paviršius susisiekia su izoliatorium, sakysime, su tuštuma arba oru. Taigi elektros dalelės, pasiekusios rutulio paviršių, nebegali skleistis izoliuojamoje medžiagoje. Todel jų slinkimas radiališkai sustos ir teigiamos elektros dalelės slinks dabar tangenciališkai, išilgai rutulio paviršiaus, kol atsparos jėgos pasieks pusiausvyrą, vadinasi, kol teigiamos elektros dalelės vienodai išsiskleis per visą rutulio paviršių. Taigi darant elektriškus eksperimentus nesvarbu yra, ar mes imame masingus laidininkus, ar tuščius laidininkus. Ir vienu ir antru atveju efektas visuomet yra tas pats



40 pieš.

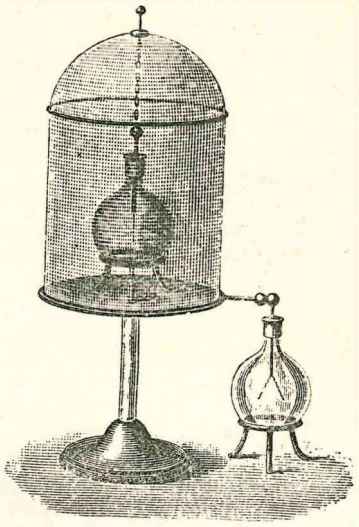


40 a pieš.

41 piešinys rodo dar vieną būdą, kuriuo galima įrodyti, kad suteiktas kūnui tam tikras elektros kiekis arba elektros įlydis visuomet susitaupo ant kūno išorinio paviršiaus. Mes čia turime metalinę lėkštę ant stiklo kojos, įdėtos į medinį padėklą, taip kad ta metalinė lėkštė būtų izoliuota. Metalinė lėkštė užvožta čia cilindriniu gaubtu iš plonos vielos tinklo. Vidury to gaubto ant metalinės lėkštės pastatytas dar elektroskopas stiklo bonkos pavidalu. Elektroskopo rutuliukas sujungtas metaliniu retežiu su metaliniu rutuliuku tinklo cilinderio viršuj. Išorėj, kaip rodo piešinys, prie lėkštės pri-

glaustas metalinis rutuliukas kito elektroskopo. Prie tinklo išorėj galima dar prilipdyti keletas popieriaus lapelių. Palietę tinklo cilinderio rutuliuką, sakysime, patrinta amalgama stiklo lazda, mes pastebėsime, kad prilipdyti prie tinklo cilinderio popieriaus lapeliai smarkiai atsilenks ir kad išorinio elektroskopo lapeliai persiskirs, tuo tarpu lapeliai elektroskopo, kuris randasi tinklo cilinderio vidury, pasiliks supuolę. Tai reiškia, kad visas suteiktas tinklo cilinderiui įlydis bus ant jo išorinio paviršiaus.

Pagaliau Faraday'us, norėdamas įrodyti elektros susitaupymą ant išorinio laidininkų paviršiaus, atliko bandymus šita prasme dideliu užsimojimu. Jis padirbo iš medinių plonų sijų didelį kubą, kurio briauna buvo apie 4 metrus ilgio, aptraukęs šitą kubą popierum ir apsiautęs popierių iš visų pusių plonu metaliniu tinklu. Kubas buvo aprūpintas durimis, pro kurias galima buvo įeiti į tą kubą kaip į kambarį ir, užsidarius duris, daryti to kubo vidury mėginimus elektroskopu. Izoliavęs kubą nuo žemės stikliniais padėklais Faraday'us su elektroskopu įėjo į tą kubą ir užsidarė. Tada jo pagalbininkas smarkiai užtaisė kubą elektra su pagalba didelės elektriškos mašinos, taip kad iš kubo galima buvo ištraukti ilgos kibirkštys. Bet Faraday'us kubo vidury su jautriausiu elektroskopu nesugebėjo konstatuoti nė pėdsako elektros. Visas suteiktas kubui elektros įlydis buvo ant kubo išorinio paviršiaus.



41 pieš.

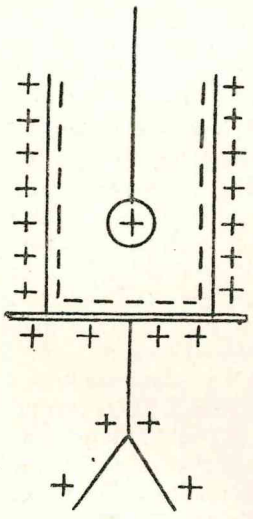
Aukščiau aprašyti elektrostatinės indukcijos bandymai aiškiai rodo, kad kūnų elektrifikacija visuomet yra surišta su indukcija ta prasme, kad jeigu kur nors ant laidininko susidaro teigiama elektra, tai ant laidininko apylinkoje susidaro toksai pat kiekis neigiamos elektros ir tada tarp tokių kūnų veikia traukos jėga. Sujungus laidininku izoliuotą elektriškai užtaisytą kūną su apylinkos kūnais (sakysime, sujungus juos metaline viela) abidvi elektros rūšys neutralizuoja viena antrą. Taip, grįžtant prie bandymo, kurį atvaizduoja 39 piešinys, teigiamos elektros kiekis ant rutulio yra lygus neigiamos elektros kiekiui ant išvidinio metališko cilinderio paviršiaus. Teigiama elektra ant išorinio metališko cilinderio paviršiaus indukuoja tokį pat kiekį neigiamos elektros, sakysime, ant išvidinių sienų kambario, kuriame randasi aparatas. Palietus teigiamai užtaisytu rutuliu metališko cilinderio išvidines sienas, rutulio + elektra bus neutralizuota — elektra ant cilinderio išvidinio paviršiaus. Tada pasiliks tik + elektra ant išorinio cilinderio paviršiaus ir — elektra ant kambario sienų. Sujungus viela kambario sienas su metališku cilinderiu, cilinderio + įlydis bus neutralizuotas sienų — įlydžiu ir jokios elektrifikacijos nebeliks. Taigi posakis „nuvesti arba nuleisti elektrą į žemę" reiškia ne ką kita, kaip neutralizuoti tam tikrą kiekį vienos rūšies elektros tokiu pat kiekiu kitos rūšies elektros, kuris indukcijos keliu yra susidaręs kur nors apylinkoje. Tai vadinasi iškrauti, arba išlydyti, elektriškai užtaisytą laidininką. Taigi išeina taip, kad du priešingos elektros įlydžiai visuomet stengiasi susijungti. Kada du kūnai, užtaisyti priešingomis elektromis, sujungiami metaline viela, tai mes turime slinkimą tos vielos paviršium abiejų rūšių elektros priešingomis kryptimis. Toksai slinkimas yra vadinamas elektros srove, ir elektros srovė visuomet veda prie susijungimo abiejų rūšių elektros arba prie neutralizacijos. Bet kada tarp dviejų užtaisytų priešingomis elektromis kūnų randasi izoliatorius arba dielektrikas, tai, aplamai, abidvi elektros rūšys negali susijungti, nes izoliatorius arba dielektrikas sudaro kliūčių elektros judėjimui, tuo tarpu laidininkuose tos kliūtys elektros judėjimui yra, sulyginti, silpnos. Bet tam tikrais atsitikimais dviejų rūšių elektros pastanga susijungti gali pasidaryti tokia didelė, kad abidvi elektros rūšys pramuša, taip sakant, dielektriką ir susijungia. Toksai dviejų rūšių elektros susijungimas per dielektriką, arba izoliatorių visuomet yra surištas su kibirkšties pasireiškimu. Visais atvejais, kada mes turime elektrišką išlydimą ar tai laidumo keliu per laidininkus ar tai kibirkšties

pavidalu, energija įelektrintos sistemos išsisklaido šilimos pavidalu laidininkuose arba pavidalu šilimos, šviesos, garso ir net chemiškos energijos kibirkštyje.

Skirtumą tarp laidininkų ir izoliatorių elektros judėjimo atžvilgiu galime demonstruoti dar šiuo eksperimentu. Paimsime du vienodus elektroskopus su lėkštėmis ant jų metalinių stiebų viršutinių galų. Užtaisysime vieną elektroskopą, sakysime, teigiama elektra. Jo lapeliai persiskirs. Paimsime metalinę vielą, aprūpintą izoliacijos kotu, ir uždėsime šitą vielą ant dviejų elektroskopo lėkščių. Akimirksnyje persiskyrimo kampas lapelių užtaisyto elektroskopo sumažės, už tai lapeliai antro elektroskopo persiskirs. Ir vieno ir antro elektroskopo lapeliai bus dabar persiskyrę tuo pačiu kampu, mažesniu kaip persiskyrimo kampas užtaisyto elektroskopo prieš sujungiant tą elektroskopą su kitu elektroskopu viela. Tai reiškia, kad dalis elektros įlydžio per vielą nutekėjo į antrąjį elektroskopą. Čia mes turime tai, kas vadinama elektros padalijimu tarp dviejų konduktorių. Kadangi čia abudu elektroskopai vienodi, vadinasi, abudu laidininkai vienodi, tai ir elektra pasidalyja tarp abiejų vienodai. Elektros pasidalijimas tarp dviejų arba net kelių laidininkų visuomet įvyksta srovės keliu. Taigi elektros srovę mes turėsime ne tik tada, kada dvi priešingos rūšies elektros jungiasi per laidininką, bet ir tada, kada tos pačios rūšies elektra pasidalyja tarp įvairių laidininkų.

Jeigu mes, užtaisę vieną elektroskopą, sakysime, teigiama elektra, uždėsime ant dviejų elektroskopo lėkščių stiklo arba ebonito lazdą, tai mes iš pradžios nepastebėsime jokio efekto antrame elektroskope. Bet, praėjus tam tikram laikui, lapeliai antrojo elektroskopo pradės skirtis, tuo tarpu pirmojo elektroskopo lapelių persiskyrimo kampas ims mažėti. Jeigu mes pakankamai ilgą laiką seksime šitą dalyką, tai pagaliau ir čia konstatuosime, kad ir per stiklo arba ebonito stiebą įvyks elektros pasidalijimas tarp abiejų elektroskopų. Taigi iš to aišku, kad izoliatoriai sudaro labai didelių kliūčių elektros judėjimui. Mes sakome, kad izoliatorių elektriška varža yra labai didelė, o laidininkų varža yra, sulyginti, labai maža.

Mes čia jau keletą sykiu vartojome terminą „elektros kiekis arb elektros įlydis“. Fizikos uždavinys pradedant visokius tyrinėjimus yra tas, kad būtų išmatuoti visokie dydžiai ir išreikšti skaičiais. Taigi svarbu nustatyti tam tikras elektros kiekis arba elektros įlydis vienetu ir turėti priemonė sulyginti šitą elektros vienetą su įvairiais elektros kiekiais.



42 pieš.

Kad geriau suprastume, kokiu būdu galima sulyginti įvairūs elektros kiekiai ir nustatyti elektros vienetas, pasinaudosime paprasta schema, kurią atvaizduoja 42 piešinys. Mes čia turime ilgoką siaurą tuščią metalinį cilinderį, kuris dugnu uždėtas ant jautraus elektroskopo lėkštės. Čia atvaizduotas ne visas elektroskopas, o tik jo lėkštės, stiebas ir lapeliai. Kaip jau mes žinome, norint pakelti šito elektroskopo jautrumą, reikia ties lapeliais padėti du metaliniai diskai. Paimsime bandymo rutulį (nedidelį rutuliuką ant izoliacijos koto), suteiksime jam tam tikrą kiekį + elektros ir leisime jį iš viršaus į siaurą cilindrinį indą. Kaip tiktai + rutuliukas pateks į indą, ant indo išvidinio paviršiaus indukcijos keliu susidarys neigiama elektra, o ant išorinio paviršiaus teigiama elektra, ir elektroskopo lapeliai tuojau persiskirs. Leidžiant + rutuliuką į indą giliau, lapelių persiskyrimo kampas didės ir pagaliau pasieks tam tikrą didumą, kuris nebesikeis leidžiant + rutulį dar giliau į indą. Visų pirma aišku, kad tokiu prietaisu galima visuomet konstatuoti, ar laidininkas užtaisytas elektra ar ne. Reikia tik įkišti tas laidininkas į indą visiškai neliečiant juo indo šonų, ir jeigu laidininkas užtaisytas, tai lapeliai tuojau persiskirs. Antra vertus, jeigu mums pasisektų nustatyti ta indo giluma, nuo kurios pradedant lapelių persiskyrimo kampas nebesikeičia, tai aišku, kad įleidžiant įvairiai užtaisytus elektriškus kūnus į tą indą ligi nustatytos gilumos mes galėsime spręsti apie tų kūnų įlydžių didumus iš lapelių persiskyrimo kampo, vadinasi, galėsime lyginti elektros kiekius. Jeigu mes uždengsime siaurą cilindrinį indą dangčia su pakan-

kamai didele skyle per tos dangties vidurį, kad galima būtų pro tą skylę prakišti užtaisytas elektriškai rutuliukas, tai mes pastebėsime, kad lapeliai persiskiria tam tikru kampu tuojau, kaip tik užtaisytas rutuliukas bus įleistas į viršutinę indo dalį, ir tasai kampas pasilieka be atmainos leidžiant užtaisytą rutuliuką vis giliau ir giliau, gangreit iki pat dugno. Juo siauresnė dangties skylė, juo tikresnis efektas. Geriausia aprūpinti dangtis maža skyle, taip kad pro ją galima būtų prakišti tik užtaisyto kūno izoliacijos kotas. Taigi išeina, kad elektroskopo lapelių atsilenkimas nepareina nuo elektriškai užtaisyto kūno būklės siauram ir pakankamai giliam cilindery. Tas leidžia mums lyginti įvairius elektros kiekius remiantis lapelių persiskyrimo kampais.

Sujungsime dabar cilindrinį indą (42 pieš.) su žeme prieš leisdami į tą indą elektriškai užtaisytą rutuliuką. Įleidžiant dabar užtaisytą rutuliuką į indą, tos pačios rūšies elektra, kaip rutuliuko elektra nuo išorinio indo paviršiaus, bus nuvesta į žemę, ir todel lapeliai nepersiskirs. Bet užtat lapeliai dabar bus ypatingai jautriam padėjime ir tasai jų jautrumas galima dar padidinti, padėjus lapelius tarp dviejų metalinių diskų. Traukiant užtaisytą rutulį inde augštyn arba leidžiant jį žemyn, mes nepastebėsime jokio efekto elektroskope. Lapeliai visą laiką bus supuolę. Bet, ištraukiant iš indo užtaisytą rutulį arba įleidžiant, lapeliai persiskirs tam tikru kampu (tuo pačiu kampu ištraukiant ir įleidžiant užtaisytą rutulį). Taigi šituo aparatu mes galime dabar naudotis, norėdami spręsti apie elektros kiekį. Jeigu įleidžiant du įvairius kūnus, užtaisytus elektra, iš pradžios vieną, o paskui antrą, mes pastebėsime, kad elektroskopo lapeliai persiskirs tuo pačiu kampu, tai mes turėsime pakankamai pamato tvirtinti, kad abu kūnai turi tuos pačius elektros kiekius. Jeigu įleidžiant vieną užtaisytą kūną į indą lapelių persiskyrimo kampas bus didesnis, kaip įleidžiant kitą kūną, tai aišku, kad pirmasai kūnas turi daugiau elektros kaip antrasai. Paėmus du kūnus užtaisytus priešingomis elektromis, ir leidžiant juos tuo pačiu laiku į indą, bet taip, kad jiedu neliestų vienas antro, jiedu suteiks lapeliams priešingos elektros indukcijos keliu. Jeigu lapeliai nepersiskirs, tai aišku, kad abudu kūnai turi tuos pačius kiekius priešingų elektrų. Taigi, iš šitų eksperimentų aišku, kokius elektros įlydžius turime laikyti lygiais, vistiek, ar tie elektros įlydžiai bus tos pačios rūšies ar priešingų rūšių.

Trinant stiklo ir ebonito stiebus vienas antruoju inde (42 pieš.) mes nepastebėsime lapelių persiskyrimo. Bet ištraukiant iš indo vieną iš stiebų lapeliai tuojau persiskirs. Tai rodo, kad trinant stiklą ir ebonitą, ant vieno susidarė teigiama elektra, ant kito neigiama tam pačiam kieky. Tą patį galima įrodyti imant įvairios medžiagos porius.

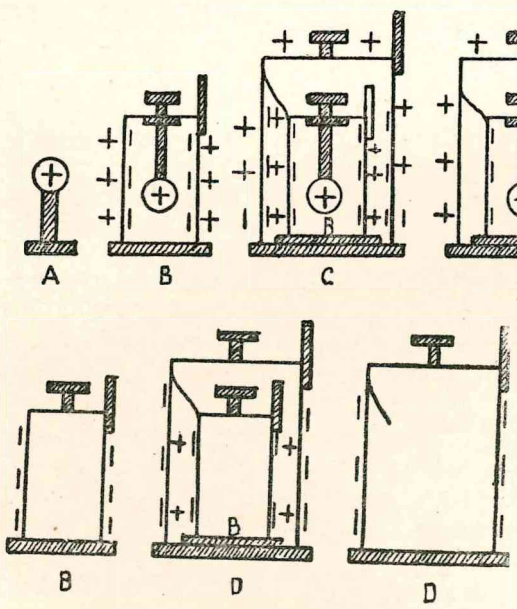
Ileisime dabar į indą užtaisytą laidininką, sujungę indą su žeme. Lapeliai bus supuolę. Įleisim dabar į tą patį indą kitą neužtaisytą laidininką ir paliesime juo užtaisytą laidininką. Mes žinome jau, kad esant kontaktui tarp dviejų laidininkų elektros įlydis pasidalyja tarp jų laidumo keliu. Bet mes nepastebėsime efekto elektroskope. Lapeliai pasiliks supuolę. Tai reiškia, kad elektros kiekis, kuris buvo ant užtaisyto kūno, nepasikeitė, o tik pasidalijo tarp dviejų kūnų. Kiek elektros nustojo vienas kūnas, tiek pat įgijo antras kūnas.

Užtaisysime dabar kitą kūną priešinga elektra ir, atjungę elektroskopą nuo žemės, įleisime šitą kūną į indą, pastatytą ant elektroskopo lėkštės, neliesdami įleistu kūnu to kūno, kuris jau anksčiau buvo inde. Sujungsime dabar vėl elektroskopą su žeme ir paliesime inde vieną kūną antruoju. Vieno kūno neigiama elektra bus antro kūno teigiama elektra neutralizuojama. Ant abiejų kūnų kontakte pasiliks perteklius neigiamos ar teigiamos elektros (kurios buvo daugiau), bet elektroskopo lapeliai nepersiskirs. Tai rodo, kad abiejų elektrų algebrinė suma, palietus vieną užtaisytą kūną antru, priešingai užtaisytu, yra ta pati, kaip ir prieš paliečiant vieną kūną antruoju. Vadinasi, neutralizuojant išnyko tas pas kiekis abiejų rūšių elektros.

Tą patį faktą mes turime vykstant indukcijai. Tegu vėl inde ant elektroskopo lėkštės randasi teigiamai užtaisytas kūnas. Elektroskopas sujungtas su žeme. Įleisime dabar į indą kitą, neužtaisytą kūną, neliesdami vienok juo pirmojo kūno. Kaip jau mes žinome, įvyks indukcija: neužtaisyto kūno elektra persiskirs, neigiama jo elektra bus pritraukta ant kūno paviršiaus, arčiau nuo užtaisyto kūno, o tos pačios rūšies elektra, t. y. teigiama, bus nustumta ant tolimesnio neužtaisyto kūno galo. Bet elektroskopas neparo-

dys jokio efekto. Tai reiškia, kad indukcijos keliu ant antrojo kūno susidarė (persiskyrė) tie patys kiekiai abiejų rūšių elektros. Paliesime dabar vieną kūną antruoju. Priešinga antrojo kūno elektra (neigiama) bus neutralizuota tam tikru kiekiu pirmojo kūno teigiamos elektros. Taigi ant abiejų kūnų kontakte pasiliks teigiama elektra, bet elektroskopo lapeliai nepersiskirs. Tai rodo, kad kiek buvo šitoje sistemoje elektros iš pradžios, tiek joje yra ir dabar, kada kūnai randasi kontakte. Vadinasi, kad kiek palietus vieną kūną antruoju išnyko neigiamos elektros, tiek pat išnyko ir teigiamos elektros. Vadinasi, elektrinant kūnus arba įlydinant juos ar tai trynimu, ar tai laidumu, ar tai indukcija, visais atvejais kiek susidaro teigiamos elektros, tiek susidaro ir neigiamos elektros, ir kiek išnyksta vienos rūšies elektros, tiek išnyksta ir kitos rūšies elektros.

Atjungsime dabar vėl elektroskopą nuo žemės (žiūr. 42 pieš.) ir įleisime į indą ant elektroskopo lėkštės teigiamai užtaisytą rutulį. Lapeliai persiskirs. Artinant prie tų lapelių neigiamai įelektrintą lazdą mes pastebėsime, kad lapeliai supuola. Tai rodo, kad ant lapelių ir, vadinasi, ant išorinio indo paviršiaus mes turime teigiamą elektrą. Teigiamai užtaisytas rutulys perskyrė indo elektrą, pritraukęs neigiamą elektrą ant išvidinio indo paviršiaus ir nustūmęs teigiamą elektrą ant išorinio indo paviršiaus. Vienu žodžiu, mes čia turime indukcijos veikimą. Paliesime dabar indą pirštu ir, atitraukę pirštą, tuojau ištrauksime iš indo teigiamai užtaisytą rutulį. Elektroskopo lapeliai persiskirs tuo pačiu kampu kaip buvo iš pradžios. Bet jie dabar bus užtaisyti neigiama elektra, nes artinant prie lapelių neigiamai užtaisytą ebonito lazdą lapeliai persiskirs smarkiau. Išlydysime dabar elektroskopą ir vėl įleisime į indą teigiamai užtaisytą rutulį. Lapeliai persiskirs tam tikru kampu. Paliesime dabar rutuliu išvidines indo sienas. Teigiama rutulio elektra bus neutralizuota neigiama elektra ant išvidinio indo paviršiaus. Bet lapeliai pasiliks persiskyrę tuo pačiu kampu, kokiu jie buvo persiskyrę prieš paliečiant rutuliu indą iš vidaus. Vadinasi, ant indo sienų iš vidaus buvo tiek pat neigiamos elektros, kiek buvo teigiamos elektros ant rutulio ir kad tiek pat buvo teigiamos elektros ant indo išorėj. Vadinasi, įleidžiant izoliuotą užtaisytą laidininką į kitą tuščią laidininką, tasai užtaisytas laidininkas indukuoja tokį pat, bet priešingos rūšies, įlydį ant išvidinio tuščio laidininko paviršiaus, o tokio pat didumo tos pačios rūšies įlydis atsiranda ant tuščio laidininko išorėj.



43 pieš.

Pasinaudosime dabar 43 piešiniu, kad parodytume, kaip, remiantis aprašytais indukcijos reiškiniais, galima pagaminti tokie elektros kiekiai, kurie bus kartotini tam tikro kiekio sauvališkai priimto vienetu arba bus to vieneto trupmena. Kad tai galima būtų atlikti praktikoje, reikia turėti visai izoliuojama medžiaga, kad užtaisytas elektriškai kūnas užlaikytų elektrą neapribotą laiką. Iš tikrųjų tokios visai izoliuojamos medžiagos, išskyrus tuštumą, nėra ir todel praktikoje realizuoti pareikštas čia sumanymas sunku. Bet čionai svarbu parodyti, kad principe toksai dalykas galimas, kad galima turėti elektros vienetas, sauvališkai nustatytas, ir to vieneto trupmenos arba 2, 3, 4 syk ir t. t. didesni elektros kiekiai, kaip tasai elektros vienetas.

Taigi paimsime metalinį rutuliuką ant kojos iš absoliučiai izoliuojamos medžiagos (žiūr. 43 A.) ir užtaisysime jį tam tikru teigiamos elektros kiekiu. Laikysime šitą elektros kiekį vienetu. Paimsime dabar metalinį indą su pagrindu B iš izoliuojamos medžiagos ir su viršeliu, aprūpintu izoliacijos rankena h. Tegu tas viršelis iš apačios turi tam tikrą prietaisą, su kurio pagalba galima prie viršelio prijungti izoliuoto rutulio bazė A, apvertus rutulį žemyn, kaip rodo 43 piešinys B. Tegu pagaliau šitas indas B turi izoliacijos rankeną H, su kurios pagalba galima šitas indas B įdėti į kitą tokį pat, bet didesnį indą C (žiūr. 43 pieš.). Įdėjus rutulį A į indą B, tasai rutulys indukuos neigiamą elektrą iš vidaus indo ir teigiamą elektrą išorėj indo. Paėmę šitą indą B įdėsime jį į indą C. Indo C viršelis turi metalinį liežuvėlį S pritaikintą taip, kad tas liežuvėlis S paliečia indą B, užvožiant viršeliu indą C (žiur. 43 pieš. C). Tad teigiama indo B elektra neutralizuojasi neigiama indo C elektra, kurią indukuoja indas B inde C, ir pasilieka tik teigiama elektra ant indo C išorėj tokiam kieky kaip ant rutulio A ir tam pačiam kieky neigiama elektra iš vidaus B. Išimsime dabar indą B iš indo C. Tada išorėj indo C pasiliks teigiama elektra tokiam kieky, kaip ant A (žiūr. paskutinius du vaizdus 43 piešinio viršutinės eilės).

Išimsime dabar teigiamai užtaisytą rutulį A iš indo B. Indas B paliks užtaisytas neigiama elektra tam pačiam kieky kaip ant rutulio A (žiūr. 43 piešinio apatinę eilę). Paimsime dabar indą D tokio pat didumo kaip indas C ir tokios pat konstrukcijos, ir paėmę už izoliuojamos rankenos H indą B įdėsime jį į indą D. Indas B indukuos teigiamą elektrą iš vidaus indo D ir neigiamą elektrą išorėj indo D. Bet neigiama indo B elektra bus neutralizuota teigiama indo D elektra per metalinį lapelį S. Taigi išėmę indą B iš indo D ant indo D išorėj pasiliks neigiama elektra tokiam kieky, kaip buvo ant indo B, kitaip sakant, tokiam kieky, kuris bus lygus elektros vienetui ant rutulio A, o indas B bus visiškai išlydytas. Aprašytų čia manipuliacijų vaisius bus suteiktas teigiamos elektros vienetais indui C ir toks pat neigiamos elektros vienetas indui D, o indas B bus tokiam padėjime kaip buvo iš pradžios. Vadinasi, su indu B mes galime atkartoti visas čia aprašytas manipuliacijas, ir atlikę tai, turėsime ant indo C du teigiamos elektros vienetus, o ant indo D du neigiamos elektros vienetus. Aišku, kad tokiomis manipuliacijomis mes galime pagaminti sau indų su vienu vienetu, su 2, su 3. ir t. t., kaip mes galime pagaminti svarelius 1 gramo, 2 gr, 3 gr. ir t. t.. Vadinasi, galime turėti visą rinkinį įvairių elektros įlydžių.

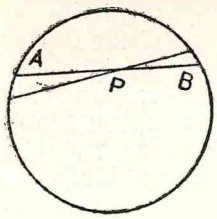
Pagaminsime dabar visą eilę tuščių indų to paties didumo ir užtaisysime vieną iš tų indų elektros vienetu manipuliuodami taip, kaip čia aprašyta. Paliesime dabar šituo užtaisytu indu kitą tokį pat neužtaisytą indą. Tada ant abiejų indų bus elektros kiekis, lygus pusei vieneto. Paliesime dabar antruoju indu trečiąjį tokį pat indą, tada ant antro ir trečio indo bus kiekiai elektros, lygūs $^1/_4$ elektros vieneto ir t. t. Aišku, kad tokiu būdu mes galime pagaminti sau eilę indų su elektros kiekiais $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ ir t. t. elektros vieneto.

Turint rinkinį tokių indų gerai izoliuotų (absoliučiai izoliuotų), mes galime dabar bet kurį elektros įlydį išreikšti elektros vienetais, vadinasi, išreikšti tam tikru skaičiumi, o tas yra vienas iš svarbiausių fizikos uždavinių. Jeigu mes turime elektriškai užtaisytą kūną ir norime išmatuoti elektros kiekį ant jo arba jo elektros įlydį, tai mes įleisime šitą kūną izoliuotą į indą ant elektroskopo lėkštės (žiūr. 42 pieš.). Elektroskopo indas irgi izoliuotas, vadinasi, elektroskopas nesujungtas su žeme. Lapeliai persiskirs tam tikru kampu. Leisime dabar į tą patį indą izoliuotu anksčiau nurodytu būdu paruoštus indus su tam tikrais žinomais elektros kiekiais, pradėję nuo mažiausio kiekio, imant indus užtaisytus priešinga elektra kaip bandomojo kūno elektra. Mes leisime tuos indus į elektroskopo indą izoliuotu būdu tiek, kad elektroskopo lapeliai supultų. Tai gavę, mes žinosime, kad paimto kūno elektros įlydis yra lygus tam kiekiui elektros, kuris randasi ant indų, izoliuotu būdu įleistų į elektroskopo indą. Galima sujungti elektroskopas su žeme, kad turėtumėm elektroskopą maximum jautrumo būklėje. Įleisime į elektroskopo indą izoliuotu būdu bandomą elektriškai užtaisytą kūną ir įleisime į tą patį elektroskopo indą izoliuotu būdu 1, 2, 3 standardizuotus indus. Jeigu ištraukiant ir bandomąjį kūną ir tuos indus tuo pačiu laiku iš elektroskopo indo lape-

liai nepersiskirs, tai reiškia, kad bandomojo kūno elektros įlydis yra lygus paimtų indų elektros įlydžiui. O jeigu tie įlydžiai nelygūs, tai ištraukiant kūną ir indus tuo pačiu laiku iš elektroskopo indo lapeliai persiskirs. Iš viso to, kas anksčiau pasakyta, savaime eina, kad standardizuoti indai visuomet reikia imti užtaisyti priešinga elektra kaip bandomojo kūno elektra.

4 §. Cavendisho įrodymas elektros jėgų atvirkščio proporcingumo kvadratui atstumo. Coulombo dėsnis ir Coulombo sukimo svarstyklės. Elektrostatinis elektros kiekio vienetas. Kai kurios išvados iš Coulombo dėsnio. Elektrostatinis jėgų laukas ir to lauko stiprumas. Mediumo reikšmė. Elektriškasai įtempimas.

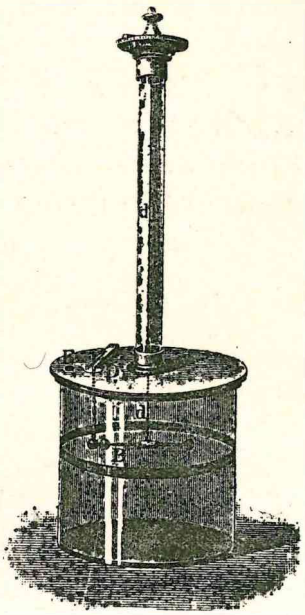
Įsivaizduokim tuščią rutulį, užtaisytą, sakysime, teigiama elektra (žiūr. 44 pieš.). Ta elektra pasidalys vienodai per visą rutulio paviršių ir mes turėsime ant kiekvieno paviršiaus vieneto, sakysime, ant kiekvieno kv. cm. paviršiaus tam tikrą teigiamos elektros kiekį e. Mes jau žinome, kad rutulio sienos veikia kaip nepereinamas ekranas elektrai, nes ant rutulio išvidinio paviršiaus nebus jokios elektros. Vadinasi, vidury rutulio nebus jokio elektros jėgų veikimo, o tų jėgų veikimas pasireikš tiktai rutulio išorėj. Remdamasis šituo faktu Cavendish'as XVIII šimtmečio pabaigoje įrodė, kad tokie dalykai yra galimi, bet tik su viena sąlyga, būtent, jeigu elektros jėga (traukos arba atsparos jėga) yra tiesioginiu būdu proporcinga elektros kiekiui ir atvirkščiai proporcinga kvadratui atokumo nuo tos vietos, kur randasi elektros kiekis, ligi tos vietos arba to taško, kuriame matuojama elektros jėga. Paimsime rutulio vidury bet kurį tašką P (44 pieš.) ir sukoncentruosime tame taške + elektros vienetą. Ištiesime dabar per tašką P dvi linijas, kurios susikerta mažu kampu viena su antra. Tomis linijomis mes galime aprašyti du kūgius, kurių viršūnė bus taškas P ir kurie išpiaus ant rutulio paviršiaus du plokščius ratukus, orientuotus diametringai priešingai vienas antram. Sujungus tų rutuliukų vidurius linija AB, aišku, kad ta linija susikirs su rutulio paviršium iš vienos ir iš antros pusės tuo pačiu kampu. Taigi plotai, kuriuos kūgiai iškerpa ant rutulio paviršiaus, santykiuos kaip PB^2 ir AP^2. Taip pat santykiuos ir elektros kiekiai ant tų plotų, nes elektros kiekiai iš eilės bus lygūs: ePB^2 ir eAP^2. Taigi jeigu elektros jėgos būtų proporcingos tiktai elektros kiekiams, tai elektros vienetą taške P veiktų dvi nevienodos priešingai atkreiptos jėgos ir būtų tam tikro didumo atstojamoji jėga taške P. O mes žinome, kad taške P nėra jokios jėgos, vadinasi, atstojamoji abiejų jėgų yra lygi O. Kitaip sakant, abidvi veikiančios taške P jėgos, atkreiptos viena prieš antrą, yra lygios Bet tai galima tik tada, jeigu viena jėga bus išreikšta: $e\frac{PB^2}{PB^2}$, o antroji: $e\frac{AP^2}{AP^2}$, vadinasi, jeigu veikiančios taške P jėgos tiesiog proporcingos elektros kiekiams ant plotų B ir A ir atvirkščiai proporcingos kvadratams atokumų taško P nuo šitų plotų. Vienu žodžiu, pasirodo, kad elektros traukos arba atsparos jėga yra proporcinga elektros kiekiams, kurie sukoncentruoti dvejuose taškuose, ir atvirkščiai proporcinga kvadratui atokumo tarp tų dviejų taškų. Tai yra žinomas Coulombo dėsnis, kuris skamba taip pat, kaip ir magnetinių jėgų dėsnis. Abudu šitie dėsniai nustatyti Coulombo 1785 -- 1790 metais bandymo keliu. Bet geriausias tų dėsnių įrodymas yra gangreit tuo pačiu laiku Cavendisho duotas, kaip jau čia pasakyta.



44 pieš.

Elektros jėgos dėsnio veikimui patikrinti Coulombas padirbo aparatą, kurį atvaizduoja 45 piešinys. Tas aparatas vadinasi Coulombo suktinėmis svarstyklėmis, nes jame elektros jėga matuojama užsuktos vielos elastingu pasipriešinimu. Aparatas susideda iš didoko tuščio stiklo cilinderio, kuris užvožiamas vožtuvu su trimis skylėmis E, D ir

trečia didesne skyle vožtuvo vidury. Prie tos vidurinės skylės pritaikytas vertikalinis stiklo vamzdis, uždarytas iš viršaus disku, padalytu į gradusus. Per šito disko vidurį eina užsukimo galvelė, sujungta su rodiklėliu taip, kad sukant šitą galvelę rodiklėlio aštrus galas slenka išilgai disko padalijimų. Prie šitos galvelės prijungtą plona viela iš metalo arba kvarco. Ant apatinio tos vielos galo užkabintas lengvas stiebelis iš stiklo arba šelako, kaip rodo piešinys. Ant vieno to stiebelio galo randasi rutuliukas B iš putino šerdies, kurio svoris kompensuojamas mediniu rutuliuku (arba stikliniu rutuliuku) ant kito stiebelio galo, taip kad stiebelis visuomet būtų gulsčioje būklėje. Per skyles D ir E galima į stiklo indą įleisti du metaliniai rutuliukai to paties didumo ant izoliacijos kotų (ant stiklo kotų). Stiklo indas per vidurį apsiaustas siaura popierine juosta su gradusų padalijimais.



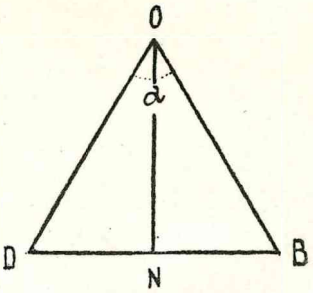
45 pieš.

Coulombo dėsnio patikrinimas atliekamas šitaip. Neužtaisytas metalinis rutuliukas įleidžiamas per skylę D taip, kad jis paliestų putino rutuliuką B, atpalaidavus vielą d nuo užsukimo, veikiant užsukimo galvele. Centras metalinio rutuliuko D privalo būti toje pačioje gulsčioje plokštumoje kaip ir centras putino rutuliuko B ir stiebelio pakabinimo taškas, taip kad atokumas nuo šito pakabinimo taško ligi abiejų rutuliukų centrų būtų tas pats bet kurioje relatyvėje būklėje abiejų rutuliukų. Nustačius taip aparatą, pagalba kito metalinio rutuliuko ant izoliacijos koto, užtaisyto, sakysime, teigiama elektra, suteikiamas tam tikras elektros įlydis rutuliukui D, įleidžiant užtaisytą rutuliuką pro skylę E į stiklo indą ir paliečiant tuo rutuliuku rutuliuką D. Suteiktas rutuliukui D elektros įlydis tuojau pasidalyja tarp rutuliukų D ir B, ir rutuliukas B atsilenkia nuo rutuliuko D tam tikru kampu, kuris atskaitomas ant graduotos stiklinio indo juostos. Tegu tas kampas bus 36°. Kadangi pakabinimo viela iš pradžios nebuvo užsukta, tai jos užsukimas bus proporcingas šitam kampui 36° ir, vadinasi, jos elastingų jėgų sukamasai momentas bus irgi proporcingas šitam kampui. Atsilenkus rutuliukui B tam tikru kampu ir pasiekus pusiausvyros būklę, elektros jėgų (čia atsparos jėgų) sukamasai momentas bus kompensuotas vielos elastingumo sukamuoju momentu. Taigi mes tokiu būdu galime surasti elektros jėgos didumą tam tikram atokumui tarp abiejų vienodai užtaisytų rutuliukų centrų. Kada atsilenkimo kampas nedidelis, mes galime šitą atokumą tarp abiejų rutuliukų centrų pakeisti lanku atsilenkimo kampo, kuris atskaitomas ant graduotos indo juostos (vadinasi lanku kampo 36°). Šitą atokumą tarp abiejų rutuliukų centrų mes galime sumažinti, užsukdami pakabinimo vielą D su pagalba užsukimo galvelės ir atskaitydami kampą, kuriuo pasukta galvelė ant graduoto disko, kuris randasi viršuj stiklo vamzdžio. Pasinaudoję proga paaiškinsime, kad stiklo vamzdis čionai reikalingas, kad būtų apsaugota pakabinimo viela nuo oro dulkių ir drėgnumo, o stiklo indas reikalingas tam, kad būtų pašalintas oro srovių veikimas pakabinto stiebelio judėjimams ir dar tam, kad, padėjus tame inde lėkštelę su kalcio chloridu arba su fosforo pentoksidu, būtų pašalinta drėgmė iš oro inde.

Taigi užsuksime su pagalba galvelės vielą tiek, kad atsilenkimo kampas tarp rutuliukų B ir D pasidarytų perpus mažesnis, tai yra kad tas kampas pasidarytų lygus 18°. Kad gautume tokią būklę, reikės pasukti galvelė kampu 126°. Prieš tai viela jau buvo užsukta kampu 36°. Bet užsukant tą vielą toliau, apatinis jos galas pasisuko ta pačia prasme, kaip mes užsukome vielą su pagalba galvelės, kampu 18°. Taigi dabar visas vielos užsukimas bus proporcingas kampui $126+18=144^0$. Taigi šitam kampui bus proporcingas vielos elastingų jėgų sukamasai momentas, kuris atokume 18° kompensuoja elektros atsparos jėgos sukamąjį momentą. Taigi aišku, kad sumažėjus atokumui tarp abiejų rutuliukų centrų dusyk (nuo 38 ligi 18°) elektros atsparos jėgos pa-

didės keturis sykius, būtent $144 : 36 = 4 : 1$. Kitaip sakant, elektros atsparos jėgos bus atvirkščiai proporcingos kvadratui atokumo tarp abiejų rutuliukų centrų.

Užsuksime pakabinimo vielą dar smarkiau, taip kad atsilenkimas tarp abiejų rutuliukų pasidarytų lygus, sakysime, $8{,}5^0$. Pasirodo, kad galvelė nuo jos paskutinės padėties reiks pasukti kampu 441^0. Vadinasi, dabar visas vielos užsukimas bus matuojamas kampu $441 + 126 + 8{,}5 = 575{,}5^0$. Bet einant Coulombo dėsniu tasai užsukimo kampas turėtų būti $36 \times \left(\frac{36}{8{,}5}\right)^2 = 645^0$. Taigi čia jau teorija ir eksperimentas nebesutinka, nes atskaitytas užsukimo kampas yra žymiai mažesnis kaip teorijos reikalaujamas užsukimo kampas. Reikia vienok turėti galvoj, kad juo toliau būna rutuliukai B ir D vienas nuo antro, juo mažiau turi įtakos vieno rutuliuko įlydžio būklė kito rutuliuko įlydžio būklei ta prasme, kad tie įlydžiai yra gangreit vienodai padalyti ant rutuliukų paviršiaus ir, vadinasi, svarstant jų veikimą vienas antram galima manyti, kad tie įlydžiai sukoncentruoti rutuliukų centruose. Bet juo arčiau bus vienodai užtaisyti rutuliukai vienas nuo antro, juo smarkiau susitaupys jų įlydžiai ant priešingų rutuliukų paviršių ir, vadinasi, tada jau atokumas tarp rutuliukų centrų nebebus atokumu tarp jų įlydžių. Taigi faktiškai atokumas tarp tų įlydžių bus didesnis kaip $8{,}5^0$. Todel pažiūrėsime, kas išeis, jeigu mes paimsime vietoj kampinio atokumo tarp abiejų rutuliukų centrų, t. y. vietoj lanko, tikrą atokumą tarp abiejų rutuliukų centrų, t. y. lanko chordą ir, be to, paimsime tikrą vertę peties, kuriuo elektrinė jėga veikia tarp abiejų rutuliukų. Tegu kampas tarp abiejų rutuliukų D ir B bus lygus α (žiūr. 46 pieš.). DB bus chorda, vadinasi, bus tikras atokumas tarp rutuliukų centrų. Tegu užsukimo kampas bus lygus ϑ. Tad elastingumo jėgų sukamasai momentas bus $\mu\vartheta$, jeigu μ yra pakabinimo vielos kietumo arba užsukimo elastingumo modulis. Pažymėsime elektros atsparos jėgą raide F. Petis tos jėgos bus ON, nes O yra pakabinimo taškas stiklo stiebelio, ant kurio randasi putino rutuliukas. Taigi elektros jėgos sukamasai momentas bus F.ON. Dėliai elektros ir elastingumo jėgų pusiausvyros sukamieji momentai yra lygūs ir atkreipti vienas prieš antrą. Vadinasi, $F.ON = \mu\vartheta$. Todel $\vartheta = \frac{F.ON}{\mu}$. Bet iš 46 piešinio figūros turime: $ON = OD.\ \cos\frac{\alpha}{2}$. Antra vertus, einant Coulombo dėsniu, mes turime:



46 pieš.

$$F = \text{prop.}\ \frac{1}{DB^2} = \text{prop.}\ \frac{1}{(2DN)^2} = \text{prop.}\ \frac{1}{4DO^2 \sin^2\frac{\alpha}{2}},\ \text{nes}\ DN = DO \sin\frac{\alpha}{2},$$

$$\text{ir, vadinasi,}\ 2DN = 2D0 \sin\frac{\alpha}{2}.$$

Imdami visa tai galvon mes gausime užsukimo kampui tokį reiškinį:

$$\vartheta = \frac{\text{prop.}}{\mu}\ \frac{1.OD \cos\frac{\alpha}{2}}{4DO^2 \sin\frac{\alpha}{2}} = \frac{\text{prop.}\ \cos\frac{\alpha}{2}}{\mu\ 4DO \sin^2\frac{\alpha}{2}}.$$

Bet μ ir DO yra nuolatiniai dydžiai. Todel

$$\vartheta = \text{prop.}\ \frac{\cos\frac{\alpha}{2}}{\sin^2\frac{\alpha}{2}} = \text{prop.}\ \frac{\text{cotg.}\frac{\alpha}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}.$$

Todel: $\vartheta \operatorname{tg}. \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = \text{const.}$

Sita formula tinka geriau Coulombo dėsniui patikrinti bandymais su Coulombo svarstyklėmis. Paėmę pažymėtus dydžius užsukimo kampams ir atsilenkimo kampams, mes gausime šitokią lentelę:

α	ϑ	$\vartheta \operatorname{tg}. \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$
36^0	36^0	3,615
18^0	144^0	3,568
$8{,}5^0$	$575{,}5^0$	3,169

Taigi trečios skilties skaičiai gangreit vienodi.

Iš to, kas čia pasakyta, aišku, kad Coulombo svarstyklėmis galima pasinaudoti, norint patikrinti Coulombo dėsnį ir tuo atveju, kada rutuliukai D ir B yra užtaisyti priešingais įlydžiais, t. y. kada tarp jų veikia traukos jėga. Bet šituo atveju bandymas duoda dar blogesnių vaisių kaip veikiant atsparos jėgoms, nes, sulyginti, mažas relatyvaus atokumo pakeitimas tarp dviejų rutuliukų sudaro didesnę atmainą traukos jėgai kaip užsukimui.

Kad parodytume, kaip pareina elektros jėga nuo įlydžio didumo arba nuo elektros kiekio, galime paimti rutuliukus D ir B iš tos pačios medžiagos ir to paties didumo. Palietus vieną rutuliuką antruoju, suteiksime jiems abiem tam tikrą elektros įlydį. Jie tada turės tą patį elektros kiekį ir rutuliukas B atsilenks tam tikru kampu. Ištraukus rutuliuką D iš indo ir palietus jį kitu tokiu pat, bet neužtaisytu rutuliuku, ant rutuliuko D pasiliks tik pusė buvusio ant jo įlydžio. Įleisime vėl šitą rutuliuką D į indą. Tada pastebėsime, kad rutuliukas B galima bus palaikyti tam pačiam atokume nuo rutuliuko D kaip buvo pirmame bandyme, užsukant pakabinimo vielą dusyk silpniau arba sumažinant užsukimo kampą per pusę. Kadangi ant rutuliuko B pasilieka tas pats įlydis kaip buvo pirmame bandyme, tai iš to išeina, kad atsparos jėga yra tiesiog proporcinga elektros kiekiui.

Taigi, aplamai, jeigu mes turime du elektros kiekius e_1 ir e_2 ant dviejų mažučių rutuliukų arba sukoncentruotus taškuose, tai veikiamoji tarp jų elektros jėga f gali būti išreikšta šitokia formula: $f = \pm \frac{e_1 e_2}{r^2}$. Čia r reiškia atokumą tarp dviejų taškų, kuriuose sukoncentruoti elektros kiekiai e_1 ir e_2. Reiškinys turi ženklą +, kada mes turime tos pačios rūšies elektros įlydžius, ir ženklą —, kada turime priešingų elektrų įlydžius. Pabrėšime čia tuoj, kad šita formula, kaip vėliau buvo Faraday'aus įrodyta, veikia tik tada, kada mes turime elektros įlydžius tuštumoje arba ore. Kada elektros įlydžiai randasi bet kuriame kitame izoliuojamame mediume, kaip antai, vandeny, stikle, ebonite ir t. t., tai elektros jėga išreiškiama tokia lygtimi:

$$f = \pm \frac{1}{K} \cdot \frac{e_1 \cdot e_2}{r^2}.$$

Cia K yra tam tikras dydis, charakteringas izoliuojamai medžiagai, kuris vadinasi dielektrinė medžiagos konstanta. Bet smulkiau apie tai mes kalbėsime vėliau. Čionai paminėsime dar tik, kad Coulombas patikrino savo dėsnį dar ir kitu būdu, būtent, nustatydamas vibracijų periodą užtaisyto elektriškai kūno tam tikram atokume nuo kito elektriškai užtaisyto kūno. Reikia paimti izoliuota šelako adata, pakabinta per jos vidurį ant apvyturo siūlo (plono šilko siūlo). Ant vieno tos adatos galo randasi užtaisytas elektriškai nedidelis diskas. Paimsime dar didoką metalinį rutulį, užtaisytą elektriškai ir izoliuotą ir pakabinsime tam tikram atokume nuo šito rutulio adatą su elektriškai užtaisytu disku. Diskas ir rutulys turi būti užtaisyti priešingomis elektromis. Atlenkus adatą su disku iš pusiausvyros padėties, adata ims svyruoti, ir mes galėsime nustatyti jos svyravimo periodą kuris einant fizinės švytuoklės formula yra

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{D}}.$$

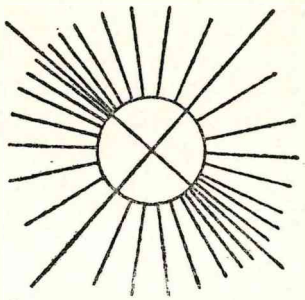
D čia reiškia veikiamosios elektros jėgos momentą. Taigi išeina, kad čia svyravimo periodas yra atvirkščiai proporcingas kvadratinei šakniai iš jėgos. Pakabinus šelako adatą toliau nuo užtaisyto rutulio Coulombas konstatavo, kad svyravimo periodas pasidarė ilgesnis tokiam pat santyky, kokiam santyky padidėjo atokumas tarp rutulio ir disko. Taip turi būti, jeigu elektros jėga yra atvirkščiai proporcinga kvadratui atokumo. Paimsime atokumus tarp rutulio centro ir disko iš eilės r_1 ir r_2. Atatinkamos elektros jėgos einant Coulombo dėsniu bus: $f_1 = \frac{E\,e}{r_1^2}$ ir $f_2 = \frac{E\,e}{r_2^2}$ ir tų jėgų momentai $D_1 = f_1\,l$ ir $D_2 = f_2\,l$. Čia l — jėgos petis, kuris yra tas pats vienu ir kitu atveju. Taigi svyravimų periodų kvadratai vienu ir kitu atveju bus: $T_1^2 = \frac{4\,\pi^2\,I.\,r_1^{\,2}}{E\,e\,l}$ ir $T_2^2 = \frac{4\pi^2\,I\,r_2^2}{E\,e\,l}$, iš to: $T_1^2 : T_2^2 = r_1^2 : r_2^2$, arba $T_1 : T_2 = r_1 : r_2$, kas ir buvo konstatuota Coulombo bandymu.

Šituo pačiu svyravimo metodu Coulombas nustatė savo dėsnį magnetinėms jėgoms, duodamas svyruoti magnetinei adatai magnetiniam lauke įvairiuose atokumose nuo magnetinio polio. Be to, jis pasinaudojo ir aprašytomis čionai suktinėmis svarstyklėmis, kad nustatytų magnetinės jėgos dėsnį, pakabinęs inde ant siūlo (žiūr. 45 pieš.) magnetinę adatą ir įkišęs pro skylę D ilgą stiebo magnetą, taip kad to megneto polis būtų ties pakabintos ant siūlo adatos poliu ir, be to, kad abudu poliai būtų toje pačioje gulsčioje plokštumoje. Darant bandymą su magnetais visa kas kita pasilieka taip, kaip jau anksčiau aprašyta, kalbant apie elektros jėgos dėsnį.

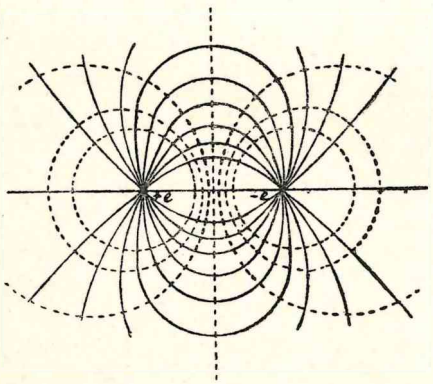
Remiantis Coulombo dėsniu galima apibrėžti elektros kiekio, arba elektros masės, arba elektros įlydžio vienetas, taip kaip tai parodyta 1 § del magnetinės masės vieneto arba magnetinio polio vieneto. Paimsime du mažiukus rutuliukus, užtaisytus elektros kiekiais e_1 ir e_2. Tegu atokumas tarp tų rutuliukų centrų bus r. Tad einant Coulombo dėsniu elektros jėga dinomis ore bus $f = \pm\frac{e_1\,e_2}{r^2}$. Jeigu abudu elektros įlydžiai bus lygūs ir atokumas tarp taškų, kuriuose jie sukoncentruoti, bus 1 cm., tad $f = e^2$. Aišku, kad galima e parinkti taip, kad f būtų kaip tik 1 dina. Tada $e^2 = 1$ ir $e = 1$. Tada elektros kiekio vienetas arba įlydžio vienetas bus toksai elektros kiekis, kuris lygų jam elektros kiekį atokume 1 cm. veikia vienos dinos jėga. Tai yra elektrostatinis elektros vienetas (vėliau mes susipažinsime dar su elektromagnetiniais elektros vienetais). Šito elektrostatinio elektros vieneto dimensija, arba didumas, yra tas pats, kaip ir magnetinės masės vieneto, būtent: $M^{1/2}\ L^{3/2}\ T^{-1}$. Praktikoje vartojamas elektros vienetas yra 3.10^9 sykių didesnis kaip šitas absoliutinis elektros vienetas. Tasai praktikos vienetas vadinasi 1 kulonas. Mes vėliau pamatysime, kodel santykis tarp praktikos vieneto ir absoliutinio vieneto paimtas toks didelis.

Turint izoliuotą užtaisytą konduktorių (laidininką) bet kurioje vietoje to konduktoriaus apylinkoje reiškiasi elektros jėga. Šitą jėgą mes galime apskaityti remdamies Coulombo dėsniu ir žinodami, kad vienas užtaisytas kūnas veikia kitą užtaisytą kūną betarpiškai, taip sakant, per atstumą, vienu žodžiu, priimant „actio in distans“. Mes galime padėti bet kurioje vietoje užtaisyto kūno apylinkos nedidelį rutuliuką, užtaisytą elektros kiekiu e. Užtaisyto kūno įlydį padalysime į elementus, kiekvienas didumo ε, ir apskaitysime veikimą kiekvieno iš tų elementų įlydį e einant Coulumbo dėsniu. Mes gausime jėgą $\frac{\varepsilon\,e}{r^2}$ kiekvienam elementui (čia r įvairiems elementams bus nevienodas). Sudėję visas tas jėgas, mes gausime: $\sum\left(\frac{\varepsilon\,e}{r2}\right)$. Tai bus jėga, kuri veikia tarp užtaisyto kūno ir elektros įlydžio e tam tikram atokume nuo užtaisyto kūno. Šita prasme mes kalbame apie elektrostatinį jėgų lauką arba paprastai apie elektros lauką, kaip mes kalbame apie magnetinį lauką ir apie gravitacijos lauką. Elektros lauko intensingumu arba stiprumu mes vadiname jėgą, kuri veikia elektros vienetą, padėtą tam tikroje elektros

lauko vietoje arba tam tikrame atokume nuo užtaisyto kūno, kuris sudaro elektros lauką. Jeigu kūno įlydis e ir elektros vienetas randasi atokume r nuo šito įlydžio centro, tai einant Coulombo dėsniu lauko intensingumas bus $\frac{e}{r^2}$. Elektros jėga, lygiai kaip ir lauko intensingumas, bet kurioje lauko vietoje turi ne tik tam tikrą didumą, bet ir tam tikrą kryptį. Šitą kryptį mes galime nustatyti įvairiais būdais. Mes galime paimti mažą metalinį rutuliuką ir pakabinę jį ant šilkinio siūlo nustatyti bet kurioje elektros lauko vietoje. Indukcijos keliu tasai rutuliukas, kaip jau mes žinome, bus įelektrintas: ant vienos rutuliuko pusės susitaupys + elektra, o ant antros—elektra. Šitie du indukcijos įlydžiai bus visiškai simetriškai orientuoti atžvilgiu vieno ir tik į vieno rutuliuko diametro. To diametro galai atatiks kaip tik maksimumui elektrifikacijos taškams. Šito diametro kryptis bus elektros jėgos kryptimi duotoje elektros lauko vietoje. Galima paimti ir teigiamai užtaisytą rutuliuką ir sekti, kaip tasai rutuliukas nusistato toje ar kitoje elektros lauko vietoje. Iš rutuliuko nusistatymo galima spręsti apie elektros jėgos kryptį. Kitas būdas surasti elektros jėgos krypčiai yra šis. Imama pailgas lengvas laidininkas, sakysime, lengvas ir trumpas medžio stiebelis arba trumpas gabaliukas metalinės vielos. Pakabinus tokį laidininką už jo masės centro ant apvyturo siūlo ir nustačius elektros lauke, abudu laidininko galai taps užtaisyti priešingomis elektromis per indukciją ir, vadinasi, bus įtakoje porio jėgų. Taigi laidininkas įtakoje šito porio jegų suksis tol, kol savo ašimi nusistatys išilgai elektros jėgos krypties. Jeigu laidininkas bus padėtas statmenai jėgų krypčiai, tai jis nebus įelektrintas, bet bus elektros lauke nepastovios pusiausvyros būklėje. Aprašytas čia laidininkas vadinasi elektrinė iešma ir gali būti prilygintas magnetinei adatai, su kurios pagalba mes irgi nustatome jėgos kryptį magnetiniame lauke. Taigi, tokiu būdu mes galime visuomet nustatyti elektros jėgos kryptį ir, vadinasi, elektros lauko intensingumo kryptį bet kurioje lauko vietoje. Jeigu mes turime užtaisytą elektriškai konduktorių, sakysime, metalinį rutulį, pakabintą ant izoliacijos siūlo arba padėtą ant izoliacijos kojos, tai išeidami nuo to rutulio paviršiaus mes galime ištiesti jo lauke linijas taip, kad liečiamoji linija bet kuriam tų linijų taške sutaptų su intensingumo kryptimi tame taške. Taip ištiesta linija vadinasi jėgos linija. Mes gausime tada vaizdą, kurį parodo 47 piešinys. Čia jėgų linijos išeina nuo rutulio paviršiaus ir skleidžiasi erdvėje radiališkai. Juo toliau nuo rutulio, juo silpnesnė elektros jėga, ir todel tam tikram atokume nuo rutulio jau sunku elektros jėga konstatuoti. Taigi šituo atveju atrodo taip, kad, tarytum, tos jėgų linijos išnyksta erdvėje. Bet mes jau žinome, kad jeigu kambary randasi, sakysime, teigiamai užtaisytas rutulys, tai ant kambario sienų, grindų, lubų susidaro tokio pat didumo neigiamas įlydis. Taip pat mes žinome, kad užtaisytas kūnas ir kambario sienos traukiasi vienas prie antro, kad tarp dviejų priešingų įlydžių veikia traukos jėga. Taigi elektrostatikoje tvirtinama, kad jėgų linijos išeina visuomet iš + įlydžio ir baigiasi visuomet ant — įlydžio. Vadinasi, linijos, išeinančios nuo paviršiaus užtaisyto metalinio rutulio, kuris padėtas izoliuotas, baigiasi ant kambario sienų, grindų, lubų, aplamai, ant įvairių kitų laidininkų, kurie randasi apylinkoje teigiamai užtaisyto rutulio. Ir ten, kur tos linijos baigiasi, mes turime priešingą neigiamą elektros įlydį. Šita prasme mes galime sakyti, kad teigiamieji elektros įlydžiai visuomet slenka jėgų linijų kryptimi, o neigiamieji elektros įlydžiai slenka priešinga kryptimi.

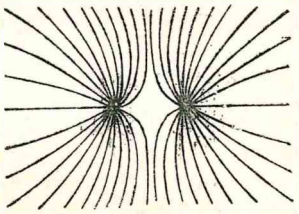


47 pieš.



48 pieš.

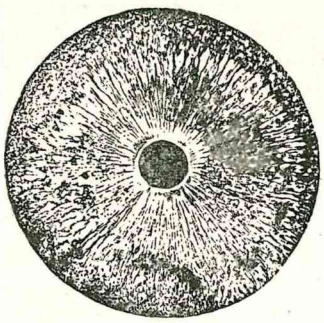
48 piešinys atvaizduoja elektros lauką tarp dviejų priešingos rūšies įlydžių. Sitas elektros laukas yra visiškai panašus į magnetinį lauką apie magnetą. Čia jėgų linijos prasideda nuo + įlydžio ir baigiasi, kur yra — įlydis, taip pat kaip magneto lauko jėgų linijos prasideda nuo šiaurės polio ir pasiekia pietų polį. Bet tos magnetinės linijos per magneto medžiagą grįžta į šiaurės polį, sudarydamos tokiu būdu uždarytas kilpas, o elektros jėgų linijos negrįžta į savo išėjimo vietą, bet išsisklaido erdvėje, nesudarydamos uždarytų kilpų. Toks tad yra esminis skirtumas tarp magnetinių jėgų linijų ir elektros jėgų linijų.



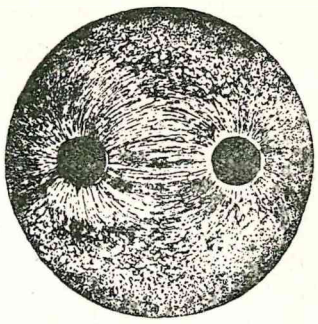
49 pieš.

49 piešinys atvaizduoja elektros jėgų lauką tarp dviejų tos pačios rūšies įlydžių, kuris laukas irgi yra visiškai panašus į magnetinį lauką tarp dviejų vienodų magnetinių polių.

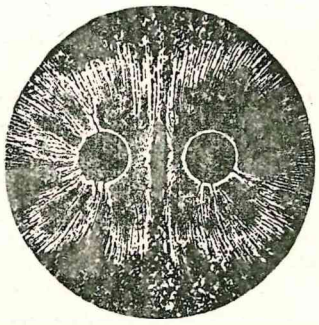
Galime demonstruoti magnetines jėgų linijas uždėję ant magneto popieriaus lapą ir apibarstę tą lapą smulkiais geležies milteliais. Taip pat galime demonstruoti elektros lauką, paėmę ebonito skritulį ir suteikdami jo viduriui elektros įlydį arba suteikdami dviejose skritulio vietose du priešingus arba tos pačios rūšies elektros įlydžius ir atsargiai apibarstant tokį ebonito skritulį medžio smulkiomis pjūvenomis arba dar geriau lycopodiumo (lietaus grybo) sporomis. 50 piešinys rodo, kaip nusistato pjūvenų dalelės arba lycopodiumo sporos ant ebonito skritulio, kada jo vidury randasi + įlydis. 51 piešinys rodo, kaip nusistato tos dalelės, kada ant ebonito skritulio mes turime du priešingus įlydžius, 52 piešinys duoda elektros jėgų linijų vaizdą tarp dviejų tos pačios rūšies elektros įlydžių ir pagaliau 53 piešinys rodo jėgų linijas tarp dviejų elektroskopo lapelių.



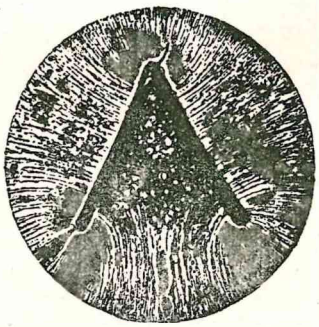
50 pieš.



51 pieš.



52 pieš.



53 pieš.

Magnetizmo ir elektros srityje didžiausius išradimus yra padaręs anglas Mykolas Faraday'us (gimęs 1791 metais ir miręs 1867 metais). Jam priklauso visiškai naujas būdas aiškinti magnetinių ir elektros jegų veikimui. Faraday'us buvo žmogus be jokio matematiško išsilavinimo. Jo mokslo cenzas buvo tik pradžios mokykla. Bet jis buvo genialus žmogus, nepaprasto darbštumo ir laisvosios minties, nesuvaržytas nė kokiomis nusistovėjusiomis pažiūromis. Rūpestingu, sistematingu ir savarankišku mokslu jis pasiekė augštą išsilavinimo laipsnį ir del savo išradimų ir tyrinėjimų, ypatingai elektromagnetizmo srityje, tapo vienu iš didžiausių mokslininkų. Taigi Faraday'us, prisilaikydamas Newton'o nuomonės, kad joks kūnas negali veikti ten, kur jo nėra, nepriėmė viešpatavusios ilgą laiką veikimo atstume (actio in distans) teorijos. Bendras prityrimas rodo, kad jėgos veikia tarp kūnų visuomet arba esant tiems kūnams

betarpiškame kontakte arba esant tarp jų visai eilei kitų fizinių kūnų arba, aplamai, esant tarp jų tam ar kitam mediumui, kuris sudaro reikalingą kontaktą tarp kūnų, taip kad jėgos veikimas nuo vieno kūno kitam kūnui persiduoda per šitą mediumą. Faraday'us, remdamasis savo bandymais, buvo įsitikinęs, kad mediumas mūsų išdėstytuose elektrostatikos reiškiniuose turi didžiausios reikšmės. Tai rodo paprasčiausias elektrostatinės indukcijos reiškinys. Priartinkime įelektrintą kūną, sakysime, prie elektroskopo lėkštės arba rutulio. Elektroskopo lapeliai persiskirs. Padėkime dabar tarp įelektrinto kūno ir elektroskopo rutulio stiklo sluogsnį: elektroskopo lapeliai persiskirs silpniau. Padėjus kaučuko sluogsnį jie persiskirs smarkiau kaip su stiklo sluogsniu, bet silpniau kaip su oro sluogsniu. Šitie bandymai rodo, kad elektros jėgos veikimas pareina nuo mediumo, kuriame randasi įelektrinti kūnai. Vieniems mediumams tos jėgos būna didesnės, kitiems mažesnės. Faraday'aus nuomone įelektrinimas, arba elektrifikacija, reiškiasi išimtinai tuo, kad pasidaro ypatingai įtempta mediumo padėtis ir elektriškasai veikimas išimtinai reiškiasi riboje tarp izoliuojamo mediumo ir laidininko paviršiaus. Taigi elektrifikacija sudaro tempimus ir spaudimus ore ar kitoj kokioj izoliuojamoj medžiagoj ir tie reiškiniai, kuriuos mes vadiname elektriniais, yra išdava tų tempimų ir spaudimų izoliuojamoje medžiagoje arba, aplamai, mediume, kuriame randasi laidininkai. Jeigu kambary randasi įelektrintas izoliuotas laidininkas, tai per indukciją ant kambario sienų, lubų ir grindų susidaro priešingos rūšies elektra ir tarp izoliuoto laidininko ir kambario sienų, lubų ir grindų reiškiasi tempimas. Elektros traukos ir atsparos jėgos, kaip jau mes matėme anksčiau, yra ne kas kita, kaip toksai tempimas. Taigi Faraday'us kalba apie mediumo „elektrišką įtempimą" ta pačia prasme kaip kalbama apie elastingą įtempimą, sakysime, elastingo rezinos siūlo arba šniūro. Bet Faraday'us supranta, kad čia yra tik panašumas, bet ne identiškumas, kad elastingas įtempimas ir elektriškas įtempimas yra skirtingi dalykai. Reikia pasakyti, kad ir šiandien dar esmė elektrinio įtempimo ne visiškai aiški. Bet visgi Faraday'us naudojosi nurodyta čia analogija, ir minėtos jėgų linijos atrodo jam įtempti elastingi šniūrai, kurie stengiasi susitraukti. Susitraukiant tiems siūlams surišti jais kūnai arba artinasi vienas prie kito, kada jie užtaisyti priešingomis elektromis, arba tolinasi vienas nuo kito, kada jie užtaisyti ta pačia elektra, nes siūlai traukiasi tada tarp kiekvieno iš tų kūnų ir kambario sienų, vadinasi, į priešingas puses. Taigi Faraday'aus elektros jėgos linijos nėra geometriškas dalykas, o konkretus fiziškas dalykas, nes tai yra realūs tempimai, kurie reiškiasi mediume, jeigu tame mediume randasi įelektrinti kūnai. Bet tempimai visuomet surišti su spaudimais. Taigi Faraday'aus jėgų lauką sudaro jėgų linijos, kurios išeina iš teigiamai užtaisyto kūno ir baigiasi ant neigiamai užtaisyto kūno. Iš kur tos linijos išeina, ten mes turime + elektros įlydį, kur jos baigiasi, ten mes turime tokio pat didumo — elektros įlydį. Išilgai tų jėgų linijų veikia tempimas, skersai jų — spaudimas. Tos linijos eina visuomet taip, kad tarp jų tarytum visuomet veikia atsparos jėgos.

Žinomas jau mums faktas, kad tuščio laidininko vidury, ant kurio paviršiaus randasi elektros įlydis, nėra jokio elektros veikimo, rodo, kad laidininko vidury nėra jokio elektriško įtempimo, jeigu tik nėra elektros judėjimo. Dalykas tas, kad, kaip jau mes matėme, laidininkas yra kaip ir nepereinamas ekranas elektros jėgų linijoms. Taigi tarp elektrifikuoto išorinio laidininko paviršiaus ir elektrifikuoto išvidinio to paties laidininko paviršiaus nėra jokio tempimo. Išoriniai elektros įlydžiai neveikia per indukciją kūnų, kurie randasi tuščio laidininko vidury. Taigi prisilaikant Faraday'aus koncepcijos reikia manyti, kad tokiomis sąlygomis laidininko medžiaga nėra įtemptoje būklėje. Kitaip sakant, nėra jėgų linijų laidininko medžiagoje, nes kiekviena linija tuojau susitraukia laidininke. Kadangi vienas galas jėgos linijos visuomet reiškia + įlydį, o antras galas — įlydį, tai pasakymas, kad jėgos linija susitraukia, yra tas pats kaip pasakymas, kad laidininke elektros įlydžiai negali pasilikti atskirti vienas nuo antro ir tuojau susijungia arba neutralizuojasi. Vadinasi, elektriškasai įtempimas veikia tik mediume ir baigiasi ant laidininko paviršiaus. Todel į elektrifikaciją laidininko paviršiaus galima žiūrėti kaipo į tam tikrą atmainą paviršutinio izoliatoriaus sluogsnio, kuris randasi kontakte su laidininku, nelyginant kaip į spaudimą vandens į hidraulinio

preso cilinderį galima žiūrėti kaipo į paviršiaus reiškinį to suspausto vandens sluogsnio, kuris randasi betarpiškame kontakte su preso cilinderiu. Elektriškasai mediume įtempimas sudaro tempimą tarp dviejų laidininkų, kurie randasi tame mediume. Taigi paviršutinis laidininko sluogsnis tempiamas išorėje ir kaipo išdava to tempimo susidaro paprastas elastingas įtempimas tarp laidininko sluogsnių. Tasai laidininko elastingas įtempimas kompensuoja elektrišką tempimą, bet jis nieko neturi bendra su tuo reiškiniu, kurį mes čionai vadiname elektrišku įtempimu, nes laidininko sluogsnių parskyrimas arba nustūmimas jų vienas kito atžvilgiu nesudaro jokių elektriškų reiškinių. Mes vartojame žodžius „elektriškasai įtempimas“ tik todel, kad tarp elastingo įtempimo jėgų ir elektriško įtempimo jėgų yra panašumo.

Kadangi elektros jėgos reiškiasi tik izoliuojamuoju mediumu ir veikia tik per tokį mediumą, tai Faraday'us pavadino izoliuojamąjį mediumą dielektriku. Taigi toliau mes tik šitą žodį ir vartosime. Sritis, kurioje reiškiasi elektriškasai įtempimas, vadinama elektros jėgų lauku.

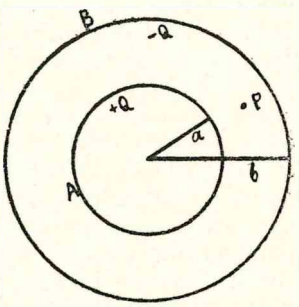
Išdėstyta čia Faraday'aus elektriško įtempimo teorija davė gerų vaisių, kada ji buvo matematiškai išnagrinėta Clerko Maxwellio, kuris buvo Faraday'aus mokiniu ir tuo pačiu laiku genialus matematikas. Mes vėliau pasipažinsime su Maxwellio teorija, kuri išreiškia visas magnetinio ir elektros laukų savybes. Čia tik pažymėsime, kad Maxwellis, eidamas hidrodinamine analogija, kalba apie elektrišką pasistūmimą, ir šitas Maxwellio terminas visiškai atatinka elektriškam įtempimui. Šiandien yra dažnai vartojamas terminas „dielektrinė polarizacija“, kuris yra tas pats kaip Faraday'aus elektriškasai įtempimas ir Maxwellio elektriškasai pasistūmimas, arba atsilenkimas. Vartodami terminą „dielektrinė polarizacija“ mes suprantame dielektrikos struktūrą, sudarytą polarinėmis molekulomis arba polariniais atomais ir aiškiname Faraday'aus elektrišką įtempimą susilpninimu elektriškų ryšių tarp molekulų arba atomų teigiamos ir neigiamos dalių, kitaip sakant, dalinę atomų arba molekulų disociaciją.

Nesunku įrodyti, kad Faraday'aus elektriškasai įtempimas krypties atžvilgiu visiškai sutampa su elektros lauko intensingumu duotoje lauko vietoje arba taške, o didumo atžvilgiu yra tiesiog proporcingas tam intensingumui. Dalykas tas, kad ir nesuprasdami elektriško įtempimo esmės, mes galime lyginti didumo atžvilgiu elektrišką įtempimą įvairiuose elektros lauko taškuose sekdami tuo ar kitu efektu. Taip pat mes galime visuomet nustatyti įtempimo kryptį. Pavyzdžiui, įtempimo didumą mes galime laikyti proporcingu jėgai, kuri veikia duotoje lauko vietoje labai mažą elektriškai užtaisytą kūną, o įtempimo kryptį laikyti sutampama su tokios jėgos kryptimi. Taip pat mes galime matuoti įtempimą įlydžiais, kurie susidaro ant abiejų pusių plonos bandymo plokštelės, padėję ją lauke statmeniškai veikiamajai jėgai.

Kalbant apie elektrišką įtempimą reikia turėti galvoj, kad vidury laidininko nėra jokio elektriško įtempimo, jeigu aplinkos elektros įlydžiai yra parimę. Vadinasi, įtempimas baigiasi ant laidininko paviršiaus. Nesunku įrodyti bandymais, kad elektriškasai įtempimas išorėj laidininko ir arti nuo jo paviršiaus visuomet yra normalus tam paviršiui. Jeigu mes prie laidininko šonų, sakysime, cilinderio arba rutulio pavidalu prikabinsime ant plonų apvyturų siūlų lengvus putino rutuliukus, tai užtaisę laidininką elektra, rutuliukai atsilenks ir nusistatys taip, kad apvyturo siūlai bus ištempti statmeniškai laidininko paviršiui. Arba mes galime paimti trumpą gabaliuką plonos vielos ir prikabinti apvyturo arba šilko siūlu šitą gabaliuką prie ebonito stiebo galo, bet taip, kad siūlas eitų per vielos gabaliuko masės centrą. Mes tada turėsime elektros rodiklį arba elektros adatą. Priartinus ją prie užtaisyto laidininko paviršiaus, ta adata visuomet nusistatys savo ašimi statmeniškai laidininko paviršiui. Jeigu mes padėsime tokią adatą toliau nuo laidininko, tai ji nusistatys savo ašimi išilgai elektriško įtempimo, bet jau nebe statmeniškai laidininko paviršiui. Bet padėjus tarp šitos adatos ir laidininko kitą laidininką, sakysime, ranką, ir artinant ranką prie adatos, ji nusistatys statmeniškai rankos paviršiui (reikia atsiminti, kad ranka, padėta elektros lauke, indukcijos keliu įgyja iš vienos pusės + elektros, o iš antros pusės — elektros tam pačiam kieky). Pagaliau, paėmus dvi plonas bandymo plokšteles ir padėjus jas elektros lauke, ant vienos plokštelės per indukciją atsiranda teigiama elektra, ant antros neigiama elektra. Perskyrus abidvi

plokšteles galima tai įrodyti su pagalba elektroskopo. Pasirodo, kad abidvi plokštelės įgyja maximum elektros, jeigu jos padėtos lygiagrečiai užtaisyto laidininko paviršiui ir arti nuo to paviršiaus. Tai parodo, kad arti nuo laidininko paviršiaus įtempimas yra normalus tam paviršiui. Be to, šitas eksperimentas aiškiai rodo, kad įtempimo kryptis visuomet yra nuo teigiamai užtaisyto paviršiaus į neigiamai užtaisytą paviršių. Tad matyt, kad teigiama elektrifikacija visuomet stengiasi judėti išilgai įtempimo, o neigiama elektrifikacija prieš įtempimą. Kada laidininkas elektrifikuojamas, tai tada mes turime tokį elektros įlydžių judėjimą išilgai laidininko paviršiaus. Tada ant laidininko paviršiaus reiškiasi iš tikrųjų išilginis elektriškasai įtempimas, vadinasi, tada elektriškasai įtempimas turi komponentą išilgai arba lygiagrečiai laidininko paviršiui. Toksai elektros judėjimas ant laidininko paviršiaus tęsiasi tol, kol elektra ant laidininko paviršiaus pasidalys taip, kad išnyks komponenta lygiagrečiai laidininko paviršiui ir pasiliks tik komponenta statmeniškai laidininko paviršiui (normalinė komponenta). Kada toki padėtis bus gauta, mes turėsime elektrą pusiausvyroje, nes laidininkas apsuptas iš visų pusių izoliatorium, kuris trukdo judėjimą išilgai įtempimo izoliatoriuje. Mes vėliau susipažinsime su elektros srove arba su elektros judėjimu per uždarytą laidininkų sistemą. Tokiomis sąlygomis nėra elektros pusiausvyros ir, vadinasi, elektros įtempimas turi komponentą išilgai laidininko paviršiaus. Tai yra vienintelis atsitikimas, kada mes galime kalbėti apie elektrišką įtempimą laidininko paviršutiniam sluogsny. Tokiomis sąlygomis mes turime judėjimą teigiamos elektros viena kryptimi ir neigiamos elektros priešinga kryptimi. Toksai judėjimas sudaro tai, ką mes vadiname elektros srove. Bet tokiam judėjimui palaikyti ir, vadinasi, palaikyti įtempimui išilgai laidininko paviršiaus reikia turėti nuolatinis energijos išteklius, kuris nuolat atnaujina teigiamą ir neigiamą elektrifikaciją, neutralizuotą laidininke. Mes vėliau pamatysime, kad tokiu energijos išteklium būna arba galvaninis elementas arba dinamo mašina.

Kai del elektros įtempimo didumo, tai mes galime jį matuoti toje vietoje, kur jis baigiasi, vadinasi, ant laidininko paviršiaus kiekiu elektros ant paviršiaus ploto vieneto, sakysime, ant 1 cm.^{2}. Šitą dydį mes jau anksčiau pavadinome elektrifikacijos arba elektros tankumu. Jeigu mes norime surasti elektros įtempimo didumą toliau nuo laidininko, tai mes galime padėti duotoje vietoje mažutį laidininką. Ant vienos to laidininko pusės per indukciją susidarys teigiama elektra, ant antros jo pusės tam pačiam kieky neigiama elektra. Galim išmatuoti tuos elektros kiekius elektrometru ir tokiu būdu surasti elektros tankumą duotoje vietoje. Tasai tankumas bus elektros įtempimo duotoje vietoje matas. Reikia tik, kad būtų išpildyta ta sąlyga, kad, įvedus į elektros lauką laidininką, nepakitėtų elektros įtempimas toje vietoje, kur įvestas laidininkas. Šita sąlyga bus išpildyta, jeigu mes įvesime į elektros lauką laidininką nedidelės plonos plokštelės pavidalu ir laikysime tą plokštelę statmeniškai įtempimo krypčiai. Vienu žodžiu, norėdami nustatyti įtempimo didumą toje ar kitoje elektros lauko vietoje, mes galime pavartoti paprastą arba dvigubą bandymo plokštelę. Laikant dvigubą plokštelę statmeniškai įtempimui elektros lauke ir perskyrus paskui abidvi plokšteles, mes ant vienos turėsime teigiamą elektrą, ant antros tam pačiam kieky neigiamą elektrą. Išmatuosime tuos elektros kiekius elektrometru ir apskaitysime elektrifikacijos tankumą ant plokštelių. Tai duos mums įtempimo didumą toje ar kitoje elektros lauko vietoje.



54 pieš.

Pažiūrėsime dabar, kaip pareina elektriškasai įtempimas nuo atokumo nuo elektros įlydžio arba nuo užtaisyto elektriškai kūno. 54 piešinys atvaizduoja du tuščius rutulius. Rutulys A randasi rutulio B vidury. Rutuliai iš laidininko. Pažymėsime rutulio A stipiną raide a ir rutulio B stipiną raide b. Suteiksime rutuliui A teigiamos elektros kiekį Q. Kaip jau mes žinome, suteikta elektra susitaupys ant rutulio paviršiaus ir pasidalys ant to paviršiaus vienodai. Per indukciją ant išvidinio rutulio B paviršiaus susitaupys neigiama elektra tam pačiam kieky Q ir pasidalys vienodai.

Pažymėsime elektros tankumus ant rutulių A ir B paviršių iš eilės raidėmis σ_A ir σ_B. Tad mes turėsime: $+Q=4\pi a^2 \sigma_A$ ir $-Q = 4\pi b^2 \sigma_B$, o iš to: $\sigma_A = \frac{Q}{4\pi a^2}$ ir $\sigma_B = \frac{Q}{4\pi b^2}$.

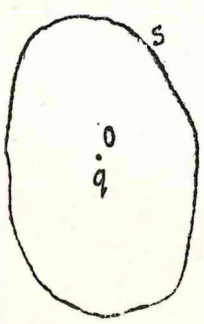
Kadangi įtempimus mes matuojame tankumais, tai išeina, kad įtempimas mediume arti nuo laidininko paviršiaus yra atvirkščiai proporcingas kvadratui atokumo nuo laidininko centro (rutulio centro) ir visuomet atkreiptas nuo to centro išorėj laidininko paviršiaus. Vadinasi, elektriškasai įtempimas seka Coulombo dėsniu kaip ir elektros lauko intensingumas arba stiprumas. Paimsime dabar tašką P ant rutulio paviršiaus stipino r. Tad įtempimas taške P bus lygus $\frac{Q}{4\pi r^2}$. Kadangi įtempimas išorėj paviršiaus A ir labai arti nuo jo pasilieka $\frac{Q}{4\pi a^2}$, tai nėra jokio pamato manyti, kad artinant antrąjį konduktorių arba laidininką ligi taško P kinta elektros įtempimas srityje tarp rutulių P ir A. Taigi mes galime manyti, kad įtempimas taške P visuomet bus $\frac{Q}{4\pi r^2}$, kol stipinas r savo didumu bus tarp stipinų a ir b. Bet tokį pat reiškinį elektros įtempimui mes gausime ir tuo atveju, jeigu priimsime veikimą atokume, vadinasi, jeigu sakysime, kad kiekvienas įlydžio elementas q veikia tiesioginiame atokume d nuo jo nepaisant to, kokios rūšies medžiaga, ar laidininkai ar izoliatoriai, randasi tarp įlydžio elemento q ir taško atokume d nuo to įlydžio. Žiūrint taip, elektros įtempimui mes gausime reiškinį $\frac{q}{4\pi d^2}$, kuris įtempimas bus atkreiptas arba nuo įlydžio q, jeigu tas įlydys teigiamas, arba į įlydį q, jeigu tas įlydis neigiamas. Sudėję įtempimus nuo visų įlydžio elementų, kaip vektorius, mes gausime visą įtempimą, kuris pareina nuo duoto įlydžio. Dalykas tas, kad įlydis ant paviršiaus B neturi jokio efekto taškui to paviršiaus vidury, tuomet kaip įlydis ant paviršiaus A reiškia tokį pat efektą, koksai būtų, jeigu visas įlydis Q būtų sukoncentruotas to rutulio A centre. Kaip jau mes žinome, vidury A nėra jokio įtempimo, nes rutulio A vidurys apgintas nuo elektros jėgų veikimo jo sienomis (sakysime, metalinėmis). Taip pat išorėj rutulio B nėra jokio elektros įtempimo, nes neigiamas įlydis Q, kuris randasi ant išvidinio rutulio B paviršiaus, negali veikti per rutulio B metalines sienas. Šita išvada išeina iš tiesioginio veikimo postulato. Taškas vidury rutulio A bus ir vidurys rutulio B ir, vadinasi, tokiam taške nebus jokio efekto, nei nuo paviršiaus A nei nuo paviršiaus B. O išorėj rutulio B ir įlydis $+Q$ ir įlydis $-Q$ veiks taip, kad, tarytum, jie sukoncentruoti bendram abiejų rutulių centre. Kadangi abudu tie įlydžiai lygūs ir priešingi, tai jų veikimas taškui išorėj rutulio B susidės iš dviejų lygių jėgų, bet atkreiptų viena prieš antrą, taip kad atstojamoji jėga bus lygi 0. Vadinasi, išorėj rutulio B jokio elektros įtempimo nebus. Taigi elektros įtempimas bet kuriam taške elektriškos sistemos su homogeniniu izoliatorium galima apskaityti kaipo atstojamasai įtempimas, sudedant įtempimus nuo atskirų įlydžių elementų, einant dėsniu $\frac{q}{4\pi d^2}$.

Anksčiau mes kalbėjome apie jėgų linijas, tiesias arba kreivas linijas, ištiestas elektros lauke taip, kad liečiamoji bet kuriam taškui tokios linijos sutaptų su kryptimi lauko intensingumo tame taške. Taip pat mes galime kalbėti apie elektros įtempimo linijas, ištiesus elektros lauke tiesias arba kreivas linijas taip, kad liečiamoji bet kuriam taškui tokios linijos sutaptų su kryptimi elektros įtempimo tame taške. Mes galime elektros lauke surasti tas įtempimo linijas su pagalba „elektros rodiklio arba elektros adatos“, stumiant šitą adatą jos teigiamu galu priekin ir visuomet kryptimi jos išilginės ašies. Turint daugybę tokių adatų ir padėjus jas įvairiose vietose apylinkėje užtaisyto kūno, mes galime nupiešti elektros lauką ir gauti vaizdą, kaip tame lauke skleidžiasi įtempimo linijos. Visais tokiais atvejais mes gausime vaizdus, kuriuos rodo 50 — 53 piešiniai. Vadinasi, įtempimo linijos ir jėgų linijos krypties atžvilgiu sutampa, kaip tai ir išeina iš viso to, kas anksčiau pusakyta apie jėgų linijas ir įtempimo linijas. Skirtumas bus tik didumo atžvilgiu tarp įtempimo ir jėgos. Be to, mes galime kalbėti aiep

jegų linijas visiškai neatsižvelgdami į mediumo reikšmę ir priimdami elektros jėgų veikimą atstume. Kalbėdami apie įtempimą mes perkeliame elektrifikacijos reiškinių esmę į mediumą ir sakome, kad elektros jėgos veikia tik per tokį mediumą ir kad jų veikimas pareina nuo to mediumo prigimties. Kada Faraday'us pirmąsyk paskelbė šitą savo mintį, tai jokių įrodymų ypatingai įtemptam mediumo padėjimui, kuriame randasi įelektrinti kūnai, nebuvo. Faraday'aus buvo tik konstatuotas faktas, kad elektros jėga ne tik proporcinga elektros kiekiui ir atvirkščiai proporcinga kvadratui atokumo, bet pareina dar nuo mediumo prigimties, nes vienam mediume tas pats elektros kiekis ir tam pačiam atokume veikia smarkiau, kitam mediume silpniau. Bet vėliau toksai mediumo įtempimas iš tikrųjų buvo konstatuotas. Stiklas yra izotropinis kūnas ir, sakysime, laužia šviesą normaliai. Suspaudus stiklą smarkiai mechaniškai, jis darosi anizotropiniu kūnu ir laužia šviesą dvigubai, nelyginant kaip Islandijos špatas. Pasirodo, kad izotropinis stiklas, padėtas stipriam elektros lauke, darosi anizotropiniu ir laužia šviesą dvigubai. Taigi negali būti jokios abejonės, kad elektros lauke mes turime ypatingų tempimų ir spaudimų, kurie atsiliepia stiklo struktūrai. Be to, šiandien mes gerai pažįstame elektromagnetines bangas, Maxwellio numatytas ir Hertzo surastas. Tokios bangos galimos tik tada, kada mediume reiškiasi elektros ir magnetinė energijos. Mes vėliau pamatysime, kad ta elektros energija (potencinė energija) gali būti išdava tiktai elektros įtempimo arba dielektrinės polarizacijos arba elektriško pasistūmimo, arba, pagaliau, elektros indukcijos, o magnetinė energija yra kinetinė energija, kuri pareina nuo masės.

5 §. Gauso teorema. Jėgų linijos ir jėgų vamzdžiai. Jėgų sriautas Lauko stiprumo išreiškimas jėgų linijomis. Elektros potencialas. Lygmės paviršiai. Elektros talpumas. Elektros kiekio, potencialo ir talpumo vienetai.

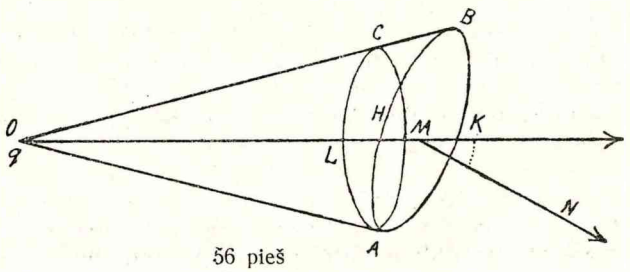
Pasipažinsime dabar su Gauso metodu išreikšti jėgų lauko stiprumui arba intensingumui jėgų linijomis žiūrint iš jėgų veikimo atstume. Tai yra labai svarbus metodas, nes jis liečia visokios rūšies jėgas, kurios veikia atvirkščiai proporcingai kvadratui atokumo. Taigi išvados, kurias mes prieisime, galima bus taikyti ne tik elektros jėgų laukui, bet ir magnetiniam laukui ir gravitacijos laukui. Be to, tasai metodas įgalins mus, reikalui esant, išreikšti elektros lauko įtempimą įtempimo linijomis.



55 pieš.

Kaip jau anksčiau pasakyta, tiesi arba kreiva linija, ištiesta jėgos lauke taip, kad liečiamoji bet kuriam taške tos linijos duoda kryptį intensingumo lauko tame taške, vadinasi—jėgos linija. Pluoštas tokių jėgos linijų vadinamas jėgų vamzdžiu. Jeigu mes ištiesime jėgų linijas per kiekvieną tašką bet kurios uždarytos kreivos linijos arba kilpos, tai mes irgi turėsime jėgų linijų pluoštą arba vamzdį.

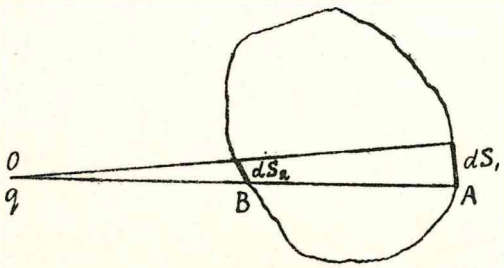
Įsivaizduokim dabar bet kurį uždarytą paviršių S ir vidury to paviršiaus elektros įlydį Q (žiūr. 55 pieš.). Tegu N bus šituo atveju lauko intensingumo komponenta statmeniškai paviršiaus elementui dS. Sutiksime toliau, kad elektros kiekis Q padalytas į daugybę labai mažų kiekių q ir seksime veikimą tų mažų kiekių. Iš taško O, kuriame yra sukoncentruotas elektros kiekis q, ištiesime linijas per taškus kreivos linijos, kuri sudaro ribas paviršiaus elementui dS. Mes tada gausime elementarinį kūgį kieto arba erdvinio kampo dw (labai mažo kampo). Aiškumo dėliai šitas kūgis



56 pieš

atvaizduotas padidintame maštabe 56 pieš. Čionai plotas AHBK kaip tiktai atvaizduoja paviršiaus elementą dS. Kadangi mūsų kūgis labai mažo kampo, tai lauko intensingumas paviršiuje dS yra lygus $\frac{q}{OA^2}$ einant Coulombo dėsniu ir laikant tą lauko intensingumą išilgai kūgio ašies ir išorėj nuo paviršiaus. Normalinę arba statmeną šito intensingumo komponentą atvaizduoja čia linija MN, kuri sudaro kampą α su kūgio ašimi, vadinasi, su viso intensingumo kryptimi. Tad šita normalinė komponenta $N=\frac{q\cos\alpha}{OA^2}$ ir $NdS=\frac{qdS\cos\alpha}{OA^2}$. Perpjausime dabar kūgį plokštuma per tašką A statmenai kūgio ašiai. Mes gausime pjūvį ALCM. Aišku, kad kampas tarp pjūvių AHBK ir ALCM yra lygus α. Kadangi kūgio erdvinis kampas dw yra labai mažas, tai galima sutikti, kad BC yra lygiagretė OA ir todel galime parašyti, kad $ALCM = AHBK\cos\alpha = dS\cos\alpha$. Taigi $NdS = q.\frac{ALCM}{OA^2}$. Bet $\frac{ALCM}{OA^2} = dw$. Todel $NdS = q.\,dw$ ir $\int NdS = \int qdw = q\int dw = 4\pi q$, nes visas kietas arba erdvinis kampas apie elementarinį elektros kiekį q lygsta 4π. Bet normalinis intensingumas arba lauko intensingumas statmenai paviršiui bet kuriame taške uždaryto paviršiaus S pareina nuo visų elementarinių krovinių, kurie randasi uždaryto paviršiaus S vidury. Sumuodami visus tuos normalinius intensingumus, kurie pareina nuo elementarinių elektros kiekių q, mes gausime $\int NdS = 4\pi Q$, nes suma visų elementarinių krovinių lygsta Q.

Paimsime dabar vėl uždarytą paviršių S ir elementarinį elektros krovinį q taške O išorėj to uždaryto paviršiaus (žiūr. 57 pieš.). Ištiesime vėl iš taško O elementarinį kūgį labai mažo kampo dw. Tasai kūgis iškirs nedidelį plotą dS_2 ant paviršiaus S vietoje B ir nedidelį plotą dS_1 vietoje A. Pažymėsime intensingumus normaliai paviršiui vietose A ir B iš eilės raidėmis N_1 ir N_2. Remdamiesi tik gauta išvada mes turėsime: $N_1dS_1 = qdw$ ir $N_2dS_2 = -qdw$, nes intensingumas išorėj nuo paviršiaus visuomet imamas su ženklu +, o intensingumas į vidų nuo paviršiaus imamas su ženklu —. Taigi algebrinė suma tų dydžių čionai lygsta O, vadinasi, jie neutralizuoja vienas antrą, ir šita išvada veikia bet kuriam elementariniam kūgiui, ištiestam iš taško O, kuris susikerta dviejose vietose su paviršium S. Taigi išeina, kad jeigu elektros kiekis randasi išorėj uždaryto paviršiaus, tai jis visiškai neprisideda prie dydžio $\int NdS$ ir tasai dydis išimtinai pareina nuo elektros kiekio, uždaryto paviršiaus vidury. Pridursime čionai, kad šita išvada veikia ir tada, kada mes turime suglamžytą paviršių, taip kad kūgis ištiestas iš elementarinio krovinio vidury paviršiaus gali susikirsti su tuo paviršium ne vienoje vietoje, bet trijose, penkiose, septyniose ir t. t. vietose, o kūgis, ištiestas iš elektros kiekio išorėj paviršiaus, gali susikirsti su tokiu paviršium ne tik dviejose vietose, bet keturiose, šešiose ir t. t.

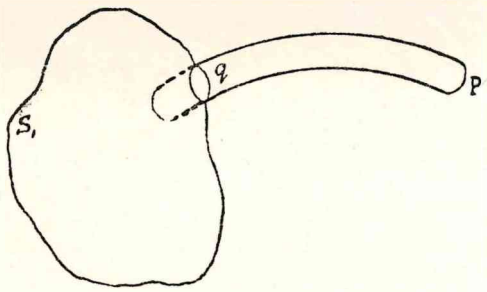


57 pieš.

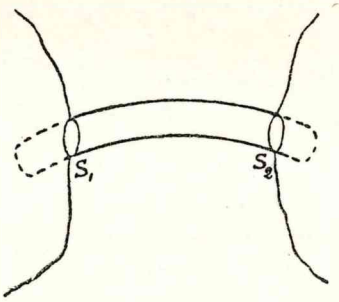
Duota čia išvada žinoma fizikoje Gauso teoremos vardu, kurią mes galime formuluoti dabar šitaip. Jeigu uždaryto paviršiaus vidury randasi elektros kiekis Q ir jeigu N yra lauko intensingumas normaliai paviršiui paviršiaus elemente dS, tai

$\int NdS = 4\pi Q$. Elektros įlydžiai, išorėj uždaryto paviršiaus, neturi jokios reikšmės apskaitant šitą integralą.

Remdamiesi šita Gauso teorema padarysime dabar kai kurias išvadas, liečiančias jėgų vamzdžius. Tegu jėgų vamzdis prasideda nuo ploto, ant kurio randasi elektros kiekis q ir kuris sudaro labai mažą dalį uždaryto paviršiaus S (žiūr. 58 pieš.). Taigi mes sakome, kad uždaryto paviršiaus S_1 vidury lauko intensingumas lygsta 0, nes elektros įlydis randasi ant paviršiaus. Sakykime, kad jėgų vamzdis prasidėjęs nuo q baigiasi vietoje P, nepasiekęs jokio kito elektros įlydžio. Ištiesime šitą jėgos vamzdį į vidų nuo paviršiaus ir uždarysime to vamzdžio kitą galą. Tokiu būdu jėgų vamzdis sudarys uždarytą paviršių, kuriam galima pritaikyti Gauso teorema. Išilgai šito paviršiaus (vamzdžio paviršiaus) lauko intensingumas eina lygiagrečiai paviršiui ir todel neduoda komponentos statmenai paviršiui (neduoda normalinės komponentos). Taigi šituo atveju $N = O$ ir $\int NdS = 0$. Bet, antra vertus, $\int NdS = 4\pi q$, nes uždaryto paviršiaus vidury, tai yra uždaryto iš abiejų galų jėgų vamzdžio vidury, mes turime elektros kiekį q. Taigi išeina, kad $4\pi q = 0$ ir $q = 0$. Tai prieštarauja tam faktui, kad mūsų jėgų vamzdis ištiestas nuo elektros kiekio q. Vadinasi, negali būti tokio atsitikimo, kad jėgų vamzdis, kuris prasideda nuo tam tikro elektros įlydžio q, baigiasi elektros lauke tokiam taške, kur nėra jokio elektros įlydžio.



58 pieš.

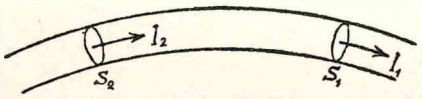


59 pieš,

Sakysime dabar, kad jėgų vamzdis prasideda nuo ploto S_1, kuriame randasi elektros įlydis q_1, ir baigiasi ant ploto S_2, kuriame randasi elektros įlydis q_2 (žiūr. 59 pieš.). Ištiesime šitą jėgų vamzdį į vieną ir į kitą pusę, kaip rodo piešinys, ir uždarysime abudu jo galus. Mes tada gausime uždarytą paviršių. Taikydami Gauso teoremą šitam paviršiui mes turėsime $\int NdS = 0$, nes ant jėgų vamzdžio paviršiaus intensingumas eina lygiagrečiai tam paviršiui ir todel neturi normalės komponentos N, kitaip sakant, ant vamzdžio paviršiaus $N=0$. Antra vertus, einant ta pačia Gauso teorema $\int NdS = 4\pi (q_1 + q_2)$, nes vamzdžio pjūviuose S_1 ir S_2 mes turime elektros kiekius q_1 ir q_2. Taigi išeina, kad $4\pi (q_1 + q_2) = 0$ ir $q_1 = -q_2$. Vadinasi, jeigu jėgų vamzdis prasideda nuo bet kurio elektros įlydžio, tai tas jėgų vamzdis tęsiasi erdvėje arba neapribotai (neturi antro galo) arba jis baigiasi (turi antrą galą) ant kito elektros įlydžio, tokio pat didumo kaip pirmasai, bet priešingo ženklo. Šita išvada iš Gauso teoremos yra labai svarbi ir ji atatinka pilnai Faraday'aus koncepcijai teigiamų ir neigiamų elektros įlydžių.

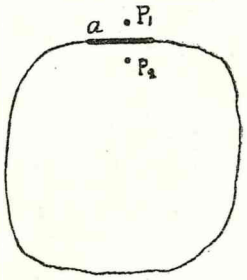
Tegu S_1 ir S_2 bus skerspjūviai tokio jėgų vamzdžio ir tegu lauko intensingumai tuose pjūviuose bus iš eilės I_1 ir I_2 (žiūr. 60 pieš.). Taikindami Gauso teoremą uždarytam paviršiui, kuris sudarytas vamzdžio dalimi tarp S_1 ir S_2 ir pjūviais S_1 ir S_2 ir atsimin-

dami, kad išilgai vamzdžio $N = 0$ ir $\int NdS = 0$ mes turėsime vamzdžio galui S_1 $NdS = I_1 S_1$ ir vamzdžio galui S_2 $NdS = -I_2 S_2$, nes pirmuoju atveju intensingumas atkreiptas į išorę, o antruoju atveju į vidų. Taigi $\int NdS = I_1 S_1 - I_2 S_2 = 0$, nes tarp S_1 ir S_2 vamzdžio vidury nėra jokio elektros įlydžio. Iš to gauname $I_1 S_1 = I_2 S_2$. Žodžiais: „sandauga iš intensingumo ir skerspjūvio yra pastovus dydis išilgai jėgų vamzdžio, jeigu tik to vamzdžio vidury nėra jokio elektros įlydžio“. Bet jeigu vamzdžio vidury randasi elektros kiekis q, tai tada $\int NdS = J_1 S_1 - J_2 S_2 = 4 \pi q$. Kitaip sakant, jeigu jėgų vamzdis eina per elektros įlydį taip, kad to vamzdžio vidury susidaro elektros įlydis q, tai tokiu atveju sandauga iš intensingumo ir skerspjūvio ploto pakinta per $4 \pi q$.

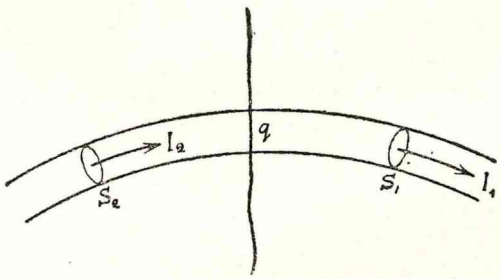


60 pieš.

Tegu α reiškia labai mažą plotą rato pavidalu ant laidininko paviršiaus, ant kurio elektros tankumas δ (žiūr. 61 pieš.). Arti nuo šito ratuko ant jo ašies statmenai paviršiui paimsime du taškus P_1 ir P_2 tam pačiam atokume nuo ploto α. Lauko intensingumas taške P_2 pareina nuo intensingumo plote α ir nuo intensingumo likusios paimto laidininko paviršiaus dalies ir, aplamai, nuo kitų elektriškai užtaisytų kūnų, kurie randasi apylinkoje ploto α. Pažymėsime šitą intensingumą, kuris nepareina nuo α, raide S. Bet taškas P_2 randasi užtaisyto laidininko vidury. Todel lauko intensingumas



61 pieš.



62 pieš.

taške P_2 yra lygus 0. Taigi tame taške intensingumai S ir α yra lygūs ir atkreipti vienas prieš antrą. Bet kadangi plotas α yra labai mažas ir taškas P_2 randasi labai arti nuo to ploto, tai intensingumas, kuris pareina nuo α, veikia normaliai (statmenai plotui α). Tai reiškia, kad ir intensingumas S veikia normaliai. Taške P_1 veikia toks pat intensingumas S kaip ir taške P_2, nes atokumas tarp taškų P_1 ir P_2 yra labai mažas sulyginti su atokumais artimiausių dalių svarstomojo laidininko paviršiaus. Intensingumas taške P_1, kuris pareina nuo ploto α, yra lygus intensingumui taške P_2, tiktai priešingai atkreiptas. Vadinasi, intensingumas taške P_1, kuris pareina nuo ploto α, veikia normaliai šitam plotui ir atkreiptas taip, kaip ir intensingumas, kuris pareina nuo visų kitų laidininkų dalių, išėmus α. Bet šitas pastarasis intensingumas, kaip jau mes matėme, veikia irgi normaliai. Taigi, aplamai, pasirodo, kad intensingumas išorėj laidininko ir arti nuo laidininko paviršiaus veikia normaliai tam paviršiui.

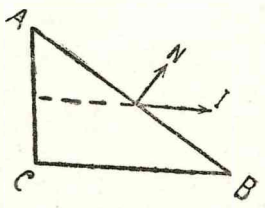
Tegu jėgų vamzdis prasideda nuo vieneto ploto ant laidininko q (žiūr. 62 pieš.). Taigi tokiu atveju elektros įlydis vamzdžio pradžioje bus $\sigma =$ elektros tankumas. Ištiesime šitą vamzdį vidury laidininko ligi ploto S_2. Kaip mes žinome, vidury laidininko intensingumas lygsta 0. Vadinasi $I_2 = 0$, nes vidury laidininko nėra elektros lauko. Antra vertus, einant Gauso teorema $I_1 S_1 = 4 \pi \sigma$, jeigu mes intensingumą plote S_1

pažymėsime raide I_1. Jeigu šitas plotas S_1 randasi labai arti nuo laidininko paviršiaus, tai jis yra lygiagretus tam paviršiui ir, vadinasi, yra vieneto plotas. Todel $I_1 = 4\pi\sigma$. Tai reiškia, kad intensingumas išorėj laidininko paviršiaus ir labai arti nuo to paviršiaus lygsta $4\pi\sigma$, kur σ reiškia elektros tankumą ant laidininko paviršiaus.

Gauso teorema ir mūsų gautomis išvadomis iš tos teoremos remiasi labai paprastas būdas elektrostatinio lauko arba magnetinio lauko intensingumui išreikšti, laikant lauko intensingumu tą jėgų linijų skaičių, kuris pereina per 1 cm.^{2} lauko skerspjūvo, einant jėgų linijoms statmenai (normaliai) per tą lauko skerspjūvį. Vadinasi, mes sakome čionai, kad I jėgų linijų pereina per 1 cm.^{2} lauko skerspjūvio, kada to lauko intensingumas lygsta I. Paimsim dabar tokį jėgų vamzdį, kurio skerspjūvis vienoje vietoje yra S_1, o kitoje vietoje S_2. Tegu elektrostatinio lauko intensingumas pirmoje vietoje bus I_1, o antroje vietoje I_2. Per jėgų vamzdžio skerspjūvį S_1 iš viso pereina I_1. S_1 jėgų linijų, remiantis mūsų ką tik sutartu būdu skaityti toms jėgų linijoms. Mes jau žinome, kad jeigu jėgų vamzdis neperkerta elektros įlydžio, tai sandauga iš lauko intensingumo ir skerspjūvio jėgų vamzdžio yra pastovus dydis. Tai reiškia, kad ir per skerspjūvį S_2 pereina iš viso I_1. S_1 jėgų linijų. Vadinasi, lauko intensingumas skerspjūvyje S_2 lygsta $I_2 = \frac{I_1 S_1}{S_2}$. Bet iš Gauso teoremos šituo atveju bus: $J_1 S_1 = J_2 S_2$. Vadinasi, lauko intensingumas vamzdžio skerspjūvyje S_2 bus $\frac{I_2 S_2}{S_2} = I_2$. Tai reiškia, kad bet kurioje jėgų vamzdžio vietoje lauko intensingumas išreiškiamas skaičiumi jėgų linijų, kurios eina toje vietoje per skerspjūvį normaliai. Taigi lauko intensingumo didumas ir kryptis galima išreikšti jėgų linijomis.

Tegu taške mes turime sukoncentruotą elektros įlydį e. Aprašome apie šitą tašką sferą stipinu r. Tad ant sferos paviršiaus mes turime intensingumą $\frac{e}{r^2}$ (einant Coulombo dėsniu) ir tasai intensingumas ant paviršiaus ir labai arti nuo paviršiaus, kaip jau mes žinome, veikia normaliai tam paviršiui. Remiantis mūsų sutartu būdu skaityti jėgų linijoms, tai reiškia, kad kiekvieną cm.^{2} paviršiaus normaliai (išilgai rutulio stipino) pereina $\frac{e}{r^2}$ jėgų linijų. Visas mūsų rutulio plotas lygsta $4\pi r^2$, vadinasi, per visą paviršių pereina $4\pi r^2 \cdot \frac{e}{r^2} = 4\pi e$ jėgų linijų. Tai reiškia, kad iš elektros įlydžio e sukoncentruoto taške arba ant nedidelio rutuliuko į visas puses išeina $4\pi e$ jėgų linijų, kurios skleidžiasi erdvėje radialiai. Vadinasi, iš vieneto įlydžio išeina iš viso 4π jėgų linijų.

Pabrėšime čia dar, kad sandauga J. S, arba tiksliau kalbant, $\int IdS$ vadinasi jėgos sriautas.



63 pieš.

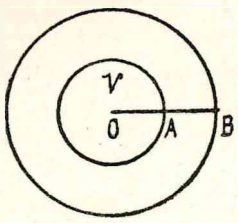
Tegu linija AB atvaizduoja bet kurio paviršiaus elementą, o linija I atvaizduoja lauko intensingumą ant paviršiaus AB. Šita linija I sudaro kampą α su normale linija N tam paviršiui AB (žiūr. 63 pieš.). Ištiesime liniją AC statmenai linijai I (vadinasi, AC bus projekcija AB statmenai I). Tad $AC = AB\cos\alpha$ ir jėgų linijų skaičius, kurios eina normaliai per AC, bus $I.AC = I.AB\cos\alpha = I.\cos\alpha.AB$. Bet $N = I\cos\alpha$. Vadinasi, skaičius jėgų linijų, kurios eina normaliai per AB, bus N.AB. Tai reiškia kad lauko intensingumas ant paviršiaus AB lygsta N (lygsta $\frac{N.AB}{AB}$), vadinasi, lygsta intensingumo normaliai komponentai N. Šita išvada labai svarbi todel, kad remiantis ja galima išreikšti lauko intensingumas jėgų linijomis bet kuriam paviršiui,

Jeigu mes turime elektros įlydį Q, kuris nesukoncentruotas taške, o randasi ant paviršiaus laidininko, tai mes galime šitą įlydį padalyti į daugybę elementarinių įlydžių q. Kiekvienas iš tų elementarinių įlydžių siunčia per plotą s jėgų linijų skaičių, $\frac{q\,s\cos\alpha}{r^2}$, jeigu tas plotas s randasi atokume r nuo elemento q ir jeigu kampas tarp linijos r ir normalės plotui yra lygus α. Kad galima būtų surasti jėgų linijų skaičius kuris eina per plotą s nuo visų elementarinių įlydžių q, reikia sudėti linijų skaičius per tą plotą nuo kiekvieno elemento q. Tad mes gausime:

$$\sum\frac{q\,s\cos\alpha}{r^2} = s\sum\frac{q\cos\alpha}{r^2} = s\,.\,N,\ \text{nes remiantis gautąja išvada}\ \sum\frac{q\cos\alpha}{r^2} = N.$$

Imant visa tai galvon, mes dabar galime formuluoti Gauso teoremą šitaip: visas jėgos sriautas per uždarytą paviršių yra lygus $4\pi Q$, jeigu vidury to uždaryto paviršiaus randasi elektros įlydis Q; kitaip sakant, visas jėgos sriautas yra lygus skaičiui jėgų linijų, kurios išeina iš elektros įlydžio uždaryto paviršiaus vidury.

Kadangi elektrostatinio ir magnetinio laukų tyrinėtojai, o ypatingai Gausas, Weberis ir Maxwellis, naudojasi analogijomis iš hidrodinamikos ir kadangi ir toliau mums teks susidurti su hidrodinamikos išvadomis, kada mums reikės aiškinti kiti jėgų lauko ypatumai, tai trumpai parodysime čionai, kad galima prieiti jėgų linijų ir jėgų vamzdžių koncepciją ir supratimą tų jėgų vamzdžių savybių žiūrint srovių arba „pasistūmimo vamzdžių" negniužiam skystime. Įsivaizduokime rutulį, užpildytą negniužiu skystimu (nesuspaudžiamu skystimu, žiūr. 64 pieš.). Tegu to rutulio stipinas bus r = OA. Tegu įvairiose vietose bus penimieji siurbliai, kuriais galime varyti skysčių į indą, o kitose vietose skylės su klapanais, per kurias tas skysčius gali išeiti iš indo. Įvarysime bet kuriam taške 0 į rutulį pripildytą nesuspaudžiamo skysčio nedidelį to paties skysčio tūrį v. Tada toks pat skysčio tūris išeis per rutulio OA paviršių laukan ir užims nedidelį tarpą tarp rutulio OA ir antro, truputį didesnio, rutulio OB. Tegu to didesnio rutulio stipinas OB = r + d, kur d labai mažas dydis. Taigi skysčio tūris v, kuris užims tarpą tarp abiejų rutulių, bus lygus:



64 pieš.

$$\frac{4}{3}\pi\left[(r+d)^3 - r^3\right] = \frac{4}{3}\pi.\ 3r^2d + \frac{4}{3}\pi\ 3rd^2 + \frac{4}{3}\pi d^3,\ \text{arba tasai tūris}\ V = 4\pi r^2 d,$$

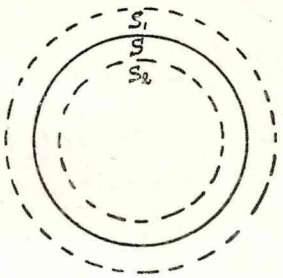
nes nariai, kuriuose randasi labai mažas dydis d antram ir trečiam laipsny, atpuola kaipo labai maži dydžiai sulyginti su $4\pi r^2 d$. Iš to eina: $d = \frac{V}{4\pi}$, $\frac{1}{r^2}$. Vadinasi, skysčio dalelių pasistūmimas visuomet yra atvirkščiai proporcingas kvadratui atokumo dalelės nuo tos vietos, kur skysčius pumpuojamas į indą. Įsivaizduokim dabar taške O vidury rutulio OA, vietoj skysčio šaltinio su penimuoju siurbliu, elektros įlydį q. Tad aišku, kad elektros lauko intensingumas bus lygus skysčio dalelės pasistūmimui, sutikus, kad $q = \frac{V}{4\pi}$, nes intensingumas, einant Coulombo dėsniu, yra $\frac{q}{r^2}$. Jeigu taške O vietoj skysčio šaltinio ir penimojo siurblio bus skylė su klapanu, per kurią iš indo ištekės skysčio tūris v, tada skysčio dalelės pasistūmimas bus apgręžtas ir tasai pasistūmimas bus lygus intensingumui, kuris pareina nuo tam tikro neigiamos elektros kiekio, būtent: $-q = -\frac{V}{4\pi}$, sukoncentruoto taške O.

Kada mes turime labai mažus skysčio kiekius, kurie įvaromi į indą vienur ir išteka iš jo kitur, tai mes galime surasti atstojamąjį skysčio dalelių pastūmima, sudedant atskirų dalelių pastūmimus kaipo vektorinius dydžius. Vienu žodžiu, mes galime įsi-

vaizduoti visuomet tokią skysčio sistemą, kuri atatinka gravitacijos, magnetinį arba elektrostatinį laiką, pakeičiant materiją gravitacijos lauko tam tikra serija ištekėjimo skylių, šiaurės magnetizmą ir teigiama elektra tam tikra serija skysčio šaltinių su penimasiais siurbliais ir, pagaliau, pietų megnetizmą ir neigiamą elektrą pakeičiant tam tikra serija ištekėjimo skylių. Tada įvaryti arba ištekėję skysčio kiekiai bus proporcingi materijos, magnetizmo arba elektros kiekiams, kuriuos tie skysčio kiekiai reprezentuoja. Tada skysčio srovės linijos arba srovės vamzdžiai atrodo visiškai taip, kaip jėgų linijos arba jėgų vamzdžiai atatinkamuose jėgų laukuose. Iš hidrodinamikos mes žinome, kad per vamzdžio arba kanalo skerspjūvį visuomet pereina tas pats kiekis skysčio, jeigu tik vamzdis neturi šonuose skylių, per kurias skystis šonuose gali išsilieti ir jeigu pačiam vamzdy nėra skysčio saltinių, iš kurių gali būti įvarytas skystis į vamzdį. Taigi, tokiomis aplinkybėmis mes turime $d_1 S_1 = d_2 S_2$, kur d_1 ir d_2 reiškia skysčio pasistūmimus vamzdžio pjūviuose S_1 ir S_2. Žodžiu, tai reiškia, kad sandauga iš skysčio pasistūmimo vamzdyje ir vamzdžio skerspjūvio ploto yra pastovus dydis per visą vamzdį. Iš čia išeina jau mūsų nustatytas dėsnis, būtent, JS = const., kuris liečia jėgų vamzdį, jeigu mes skysčio pasistūmimą pakeisime atatinkamu tam pasistūmimui ir proporcingu jam lauko intensingumu I.

Remiantis panašiomis analogijomis galima išaiškinti ir kitos jėgų vamzdžių savybės.

Pažiūrėsime dabar, koks bus lauko intensingumas išorėj tuščio rutulio, ant kurio paviršiaus randasi elektros įlydis Q vienodai padalytas ant to paviršiaus. Tegu S bus toksai rutulys (žiūr 65 pieš.) ir tegu jo stipinas bus r. Iš to paties centro aprašysime didesniu stipinu r_1 koncentrišką rutulį S_1. Iš to, kas anksčiau pasakyta, aišku, kad lauko intensingumas ant paviršiaus S_1 visur yra normalus tam paviršiaui ir visur yra to paties didumo. Tegu tasai intensingumas bus I. Tad einant Gauso teorema $4 \pi r_1^2 \; I = 4 \pi Q$, arba $I = \frac{Q}{r_1^2}$.



65 pieš.

Tai reiškia, kad intensingumas ant paviršiaus S_1 yra kaip tik toks, koksai turėtų būti, jeigu elektros įlydis Q būtų sukoncentruotas rutulio S_1 centre (arba rutulio S centre). Šita išvada liečia ne tik elektrostatinį lauką, bet ir gravitacijos lauką, nes materijos rutulys veikia bet kurį tašką išoriėj rutulio taip, kad, tarytum, visa materija sukoncentruota to rutulio centre.

Aprašysime dabar stipinu r_2, mažesniu kaip r_1, rutulį S_2 iš to paties centro kaip aprašytas rutulys S. Tada rutulys S_2 bus vidury rutulio S. Ir šituo atveju intensingumas ant paviršiaus S_2 bus visur normalus tam paviršiui ir visur to paties didumo. Taigi, einant Gauso teorema, mes turėsime $4 \pi r_2^2 \; I = 4 \pi \times 0 = 0$, nes vidury rutulio S_2 mes neturime elektros įlydžio. Taigi pasirodo, kad I = 0 visur vidury rutulio S_1.

Jeigu S yra materijos rutulys, tai padalijus tą rutulį koncentriniais sluogsniais, kiekvienas iš tų sluogsnių vienodo tankumo, sluogsniai išorėj S_2 nesudaro jokio intensingumo ant paviršiaus S_2, o sluogsniai vidury S_2 veikia taip, kad, tarytum, visa jų materija sukoncentruota rutulio S_2 centre.

Užuot vartoję jėgų linijas ir jėgų vamzdžius jėgų lauko savybių apskaitymams galime vartoti įtempimo linijas ir įtempimo vamzdžius.

Ištiesę tiesią arba kreivą linija elektros lauke taip, kad bet kuriam tos linijos taške liečiamoji linija duoda įtempimo kryptį, mes gausime įtempimo liniją. Anksčiau jau parodyta, kokiu būdu galima tokios įtempimo linijos nutiesti, pavyzdžiui, paėmus elektrinę adatą ir stumiant ją kryptimi jos išilginės ašies teigiamu galu pirmyn. Turėdami visą eilę tokių elektriškų rodiklių ir padėję juos elektros lauke įvairiose vietose, mes galėsime parodyti elektrišką įtempimą įvairiose lauko vietose. Panašiais metodais galime nupiešti elektros lauko vaizdą, ištiesdami įtempimo linijas kiek galima arčiau viena nuo antros. Tokių linijų pluoštas sudaro įtempimo vamzdelį.

Mes jau anksčiau matėme, kad elektrišką įtempimą arti nuo laidininko paviršiaus ir išorėj jo galima matuoti elektros kiekiu 1-am cm.^{2} arba elektros tankumu ant

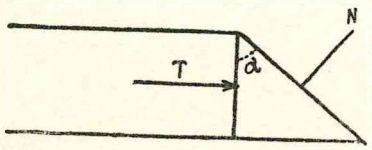
laidininko paviršiaus. Pažymėsime šitą tankumą raide σ ir elektrišką įtempimą raide T. Tad $T = \sigma$. Antra vertus, mes jau žinome, kad išorej laidininko ir arti nuo jo paviršiaus intensingumas yra lygus $4 \pi \sigma$. Vadinasi, $I = 4 \pi \sigma$. Taigi elektros įtempimas $T = \sigma = \frac{I}{4\pi}$. Duotas čia santykis tarp elektros intensingumo ir įtempimo pasilieka galioje ne tik arti nuo laidinininko paviršiaus, bet ir bet kurioj elektros lauko vietoj, nes bet kurioj lauko vietoj galima surasti elektros tankumas σ su pagalba plonos plokštelės iš laidininko arba bandymo plokštelės ant koto iš izoliuojamos medžiagos, kaip jau anksčiau pasakyta. Suradę tankumą σ, mes turėsime elektros įtempimą T. Padauginę šitą įtempimą į 4π, gausime intensingumą.

Iš to, kas čia pasakyta, aišku kad ir įtempimui galima pritaikyti tą išvadą iš Gauso teoremos, kuri sako, kad bet kurioj jėgų vamzdžio vietoj sandauga iš intensingumo ir vamzdžio skerspjūvio toje vietoje yra pastovus dydis. Taigi sandauga iš įtempimo ir vamzdžio skerspjūvio bet kurioj įtempimo vamzdžio vietoj yra pastovus dydis. Šitą sandauga galima pavadinti visu įtempimu. Vadinasi, visas įtempimas yra pastovus dydis bet kuriam įtempimo vamzdžio skerspjūviui.

Kada jėgų arba įtempimo vamzdelis prasideda nuo tokio ploto, ant kurio randasi + elektros vienetas, tai tada toksai vamzdelis vadinasi vieneto vamzdelis. Tegu tas plotas, nuo kurio tokiu atveju prasideda vamzdelis, bus s. Tad $\sigma . s = 1$. Kalbėdami apie jėgų vamzdelį mes šitą dydį vadiname jėgos sriautu. Taigi vieneto vamzdelio jėgos sriautas yra lygus vienetui. Kalbėdami apie elektrišką įtempimą T mes turėsime $T = \sigma = \frac{1}{s}$ arba $T s = 1$. Vadinasi, visas įtempimas yra lygus vienetui per visą vieneto vamzdį.

Mes jau žinome, kad jėgų arba įtempimo vamzdis, kuris prasideda nuo tam tikro kiekio teigiamos elektros, skleidžiasi erdvėje arba neapribotai arba baigiasi ant tokio pat kiekio neigiamos elektros. Tai reiškia, kad vieneto vamzdis visuomet prasideda ant + elektros vieneto ir baigiasi ant — elektros vieneto. Sąryšy su tuo faktu, kad vykstant indukcijai visuomet tam tikras teigiamos elektros kiekis indukuoja tokį pat kiekį neigiamos elektros ir remdamiesi jau minėtu vieneto vamzdžio apibrėžimu, mes galime sujungti įtempimo vamzdžiais kiekvieną elementą duoto teigiamo įlydžio su tokiu pat elementu indukuoto neigiamo įlydžio.

Taikydami Gauso teoremą bet kuriam uždarytam paviršiui mes galime pasakyti, kad visas įtempimas, normaliai paėmus jį per bet kurį uždarytą paviršių mediume, yra lygus visam elektros kiekiui to paviršiaus vidury. Dalykas tas, kad iš Gauso teoremos išeina $\int Ids = 4 \pi Q$. Padalijus intensingumą normaliai per visą paviršių į 4π, mes gausime visą įtempimą normaliai. Bet tai bus Q elektros kiekis paviršiaus vidury. Savaime suprantama, kad šitas elektros kiekis Q bus algebrinė suma visų teigiamų ir neigiamų elektros kiekių uždaryto paviršiaus vidury. Tegu 66 piešinys atvaizduoja vieneto vamzdį, kaip anksčiau apibrėžta, ir tegu to vamzdžio skerspjūvis normaliai arba statmenai jo ašiai bus s. Pažymėjus įtempimą raide T mes turėsime $Ts = 1$. Perkirsime dabar šitą vieneto vamzdį plokštuma, kuri sudaro kampą su plokštuma s ir tegu to nuožulnaus pjūvio plotas bus S. Tad mes turime $S = \frac{s}{\cos \alpha}$. Pažymėsime įtempimo komponentą normaliai šitai nuožulniai plokštumai S raide T_N. Tad $T_N = T \cos \alpha$ ir $T_N . S = T \cos \alpha$. $\frac{s}{\cos \alpha} = T_S = 1$. Taigi pasirodo, kad visas įtempimas normaliai bet kuriam pjūviui vieneto vamzdžio yra lygus vienetui. Įsivaizduokim dabar, kad mes turime bet kurį paviršių, uždarytą arba atdarą, ir tegu per tą paviršių pereina iš viso n vieneto vamzdžių. Tad remdamiesi ką tik gauta išvada mes galime pasa-



66 pieš.

kyti, kad visas įtempimas normaliai apskaičius jį per vieneto vamzdžių galus, kuriuos nukerta nuo jų duotas paviršius, yra lygus n. Taigi pasirodo, kad visas įtempimas bet kuriam paviršiui visuomet yra lygus skaičiui vieneto vamzdžių, kurie šitą paviršių perkerta.

Šito skyriaus 2 § mes pasipažinome su dydžiu, kuris yra charakteringas kiekvienam jėgų laukui, kuriam galima pritaikyti Coulombo dėsnis, kaip, pavyzdžiui, gravitacijos laukas, magnetinis laukas ir elektros laukas. Tasai dydis vadinasi potencialas ir su jo pagalba galima tiksliai aprašyti visos tokio lauko ypatybės kiekybės atžvilgiu. Visa tai, kas pasakyta šito skyriaus 2 § apie magnetinį potencialą, galima prítaikyti ir elektros laukui, kurio ypatybes kiekybės atžvilgiu mes galime išreikšti padedami elektros potencialo. Jeigu mes turime teigiamai užtaisytą laidininką ir artinsime prie to laidininko kitą irgi teigiamai užtaisytą laidininką, tai mums teks atlikti tam tikras darbas, nes teks pergalėti atsparos jėgos. Darbas, reikalingas tam, kad elektros vienetą iš begalinio atokumo priartintume ligi duoto taško elektros lauke, vadinasi, to taško potencialu, ta vienok sąlyga, kad, atliekant tokią operaciją, nesikeistų elektros įlydžiai, kurie sudaro elektros lauką. Taigi, turint bet kuriam taške erdvėje teigiamos elektros įlydį Q, potencialas atokume r nuo šito įlydžio jo atžvilgiu yra $\frac{Q}{r}$ (žiūr. šito skyriaus 2 §). Aplamai, turint taškuose A, A_1, A_2... iš eilės elektros kiekius q, q_1, q_2... jie sudaro savo apylinkoje elektros lauką. Paimsime tame lauke bet kurį tašką P, kuris randasi iš eilės atokumuose r, r_1, r_2... nuo taškų A, A_1, A_2... Tad elektros potencialas taško P yra lygus

$$\frac{q}{r} + \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \ldots = \sum \left(\frac{q}{r}\right).$$

Potencialo didumas taške P kaip ir bet kuriam kitam taške elektros lauko nepareina nuo to kelio, kuriuo + elektros vienetas bus priartintas iš begalinio atokumo ligi šito taško P. Jeigu artinant įvairiais keliais mes prieitumėm įvairius potencialus, tai mes turėtumėm įvairius darbo kiekius. Tada eidami vienu keliu mes gautumėm daugiau darbo kaip išeikvotumėm darbo einant kitu keliu, o tai įgalintu mus konstruoti Perpetuum Mobile, kas prieštarauja energijos išlaikymo dėsniui.

Mes kalbame apie teigiamą potencialą, kada mes artiname + elektros vienetą iš begalinio atokumo prie teigiamai užtaisyto kūno. Mes tada turime atlikti darbą elektros vieneto atžvilgiu, artindami tą vienetą nuo potencialo 0 begaliniam atokume į vietas vis didesnių ir didesnių potencialų. Tai reiškia, kad savaime teigamos elektros vienetas arba, aplamai, teigiama elektra slenka nuo vietų augštesnio potencialo į vietas žemesnio potencialo ir slinkdama tokiu būdu teigiama elektra atlieka darbą. Jeigu mes turime neigiamai užtaisytą kūną, tai jo potencialas bus neigiamas, nes + elektros vienetas savaime atlikdamas darbą artinasi prie neigiamai užtaisyto kūno ir darbas reiks išeikvoti, kad + elektros vienetą nuo neigiamai užtaisyto kūno nuvarytume į begalinį atokumą. Vienu žodžiu, turint neigiamai užtaisytą kūną potencialas mažėja artindamasis prie jo ir didėja tolindamasis nuo jo, ir šitą mes išreiškiame suteikdami potencialui ženklą —.

Santykis tarp lauko intensingumo X duotame lauko taške X ir potencialo tam pat taške, kaip jau išvesta 2 §, yra toks: $X = -\frac{dV}{dx}$. Čia dV reiškia potencialo V labai mažą variaciją per labai mažą atokumą dx elektros lauke.

Jeigu per visus taškus elektros lauke, kurie charakterizuojasi tuo pačiu potencialu, ištiestume paviršių, tai mes gautume vadinamą ekvipotencialinį paviršių arba lygmės paviršių. Kadangi tasai paviršius visur turi tą patį potencialą, tai varant elektros vienetą išilgai to paviršiaus atliktas darbas bus lygus O. Tai reiškia, kad ekvipotencialinis arba lygmės paviršius eina normaliai lauko intensingumui, kitaip sakant, toksai paviršius perkerta jėgų linijas visur tiesiu kampu. Aišku, kad elektros lauke mes galime ištiesti visą eilę lygmės paviršių, apimančių vienas kitą ir tokiu būdu padalyti elektros lauką į sritis tam tikro potencialų skirtumo. Jeigu mes turime elektros įlydį sukoncentruotą taške ir

apylinkoje to taško nėra kitų elektros įlydžių, tai ekvipotencialiniai paviršiai tokiu atveju sudaro eilę koncentrinių rutulių ir, jėgų linijos tęsiasi radiais (stipinais). Esant apylinkoje kitiems elektros įlydžiams, ekvipotencialiniai paviršiai gali būti labai painūs.

Ištiesime dabar eilę ekvipotencialinių paviršių taip, kad potencialų skirtumas tarp dviejų gretimų paviršių visur būtų lygus vienetui. Tegu atokumas tarp dviejų gretimų paviršių bus d ir intensingumas bet kuriam taške ant tokio ekvipotencialinio paviršiaus bus I. Tad, pereinant nuo vieno paviršiaus žemesnio potencialo į gretimą paviršių augštesnio potencialo, teks atlikti darbas Id. Bet šitas darbas yra lygus potencialų skirtumui, vadinasi, yra lygus vienetui. Taigi $Id = 1$ ir $I = \frac{1}{d}$. Vadinasi, tokiu atveju iš atokumo tarp dviejų gretimų ekvipotencialinių paviršių mes galime surasti lauko intensingumą, nes tasai lauko intensingumas ir atokumas tarp dviejų gretimų paviršių yra atvirkšti dydžiai.

Aplamai, remdamiesi augščiau duota formula santykiui tarp jėgos ir potencialo kritimo $X = -\frac{dV}{dx}$, mes visuomet galime išreikšti jėgą padedami potencialo ir atbulai.

Paimsime du bet kuriuos ekvipotencialinius paviršius atokume d vienas nuo antro. Tegu pirmojo paviršiaus potencialas bus V_1, o antrojo V_2. Šitie du paviršiai perkerta jėgų liniją dvejuose taškuose, tarp kurių atokumas yra lygus d. Taigi, kad perkeltume + elektros vienetą iš vieno taško tos jėgos linijos į antrą, reikia mums atlikti darbas $V_2 - V_1$. Todel jėga, kuri veikia + elektros vienetą ant jėgos linijos atkarpos d yra lygi $\frac{V_2 - V_1}{d}$. Žodžiais, yra lygi potencialo sumažėjimui, skaitant ant jėgos linijos vieneto ilgio, arba potencialo kritimui. Taigi, erdvėje tarp dviejų ekvipotencialinių paviršių elektros jėgos yra visuomet atvirkščiai proporcingos atokumams tarp dviejų ekvipotencialinių paviršių.

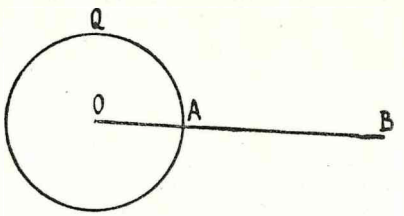
Su pagalba potencialo lengvai ir paprastu būdu galima kiekybe išreikšti ir elektros judėjimai sistemoje, sudarytoje iš eilės elektros įlydžių, nes sistema ekvipotencialinių paviršių ir jėgų vamzdelių duoda labai ryškų vaizdą elektros jėgos padalijimo apylinkoje užtaisyto laidininko, kitaip sakant, elektros lauke. Tos jėgos didumas arba elektros lauko intensingumas visuomet yra jėga, kuri veikia + elektros vienetą. Šita jėga visuomet varo teigiamą elektrą nuo augštesnio potencialo paviršių į žemesnio potencialo paviršius, o neigiamą elektrą nuo žemesnio potencialo paviršių į augštesnio potencialo paviršius. Taigi šituo faktu veikiamosios elektros jėgos kryptis visuomet yra aiškiai apibrėžta. Jeigu mes turime du laidininkus, užtaisytus, sakysime, teigiama elektra, tai paprastai tų laidininkų potencialai bus nevienodi. Sujungus juos viela teigiama elektra slinks arba tekės nuo kūno su augštesniu potencialu į žemesnio potencialo kūną ir tekės tol, kol abiejų kūnų potencialai išsilygins. Mes tada turėsime elektros srovę ir tos srovės greitumas arba stiprumas bus proporcingas potencialų skirtumui. Taigi, čia mes turime pilną analogiją su skysčio srove, kur srovės greitumas yra proporcingas skysčio lygmių augščių skirtumui, ir su šilimos srove, kur srovės greitumas arba stiprumas yra proporcingas temperatūrų skirtumui. Vadinasi, elektros potencialas yra dydis tokios pat rūšies, kaip skysčio lygmės augštis arba šilimos temperatūra.

Jeigu mes turime du laidininkus: vieną užtaisytą teigiama elektra, o antrą užtaisytą neigiama elektra, tai sujungus juos viela teigiama elektra tekės nuo augštesnio potencialo į žemesnį, o neigiama priešinga kryptimi, ir toksai elektros tekėjimas arba elektros srovė tęsis tol, kol abiejų kūnų potencialai išsilygins. Ir čia srovės stiprumas bus proporcingas potencialų skirtumui.

Pažiūrėsime dabar, koksai veikia potencialas išorėj ir vidury vienodai užtaisyto tuščio metalinio rutulio. 67 piešinys atvaizduoja tokį rutulį, ant kurio paviršiaus mes turime elektros kiekį Q, vienodai padalytą ant to paviršiaus (vadinasi, elektros tankumas visur ant to paviršiaus yra tas pats). Paimsime tašką B ant linijos, neapribotai ištiestos

iš rutulio centro O ir tegu OB = r_1. Mes jau žinome, kad elektros įlydis Q veikia elektros vienetą, padėtą taške B taip, kad, tarytum, visas tas elektros įlydis Q randasi rutulio centre O. Vadinasi, potencialas taške B yra lygus $\frac{Q}{r_1}$, nes tasai potencialas yra lygus darbui, kuris reikia atlikti nuvarant + elektros vienetą iš begalinio atokumo ligi taško B. Kada Q turi teigiamą ženklą, tas darbas yra lygus $Q\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_\infty}\right)$. Antras narys skliaustuose čia yra lygus 0, nes r_∞ yra be galo didelis dydis. Paimsime dabar ant rutulio paviršiaus tašką A ir tegul OA = r. Mes jau žinome, kad rutulio vidury elektros lauko intensingumas yra lygus 0. Vadinasi, perkėlimas + elektros vieneto iš vienos vietos į kitą rutulio vidury nereikalingas jokio darbo (kitaip sakant, šituo atveju atliktas darbas yra lygus 0. Tai reiškia, kad potencialas rutulio vidury visur yra tas pats ir yra lygus potencialui V_O taške O (rutulio centre). Iš to eina, kad ir potencialas taške A ant rutulio paviršiaus yra tas pats kaip ir taške O, vadinasi $V_A = V_O$. O potencialas taške A, kaip jau mes žinome, yra lygus $Q\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r_\infty}\right)=\frac{Q}{r}=V_A$.

Duota čia išvada liečia ir masingą metalinį rutulį, nes ir masingo rutulio vidury elektros lauko intensingumas visur yra lygus 0 ir, vadinasi, potencialas masingo rutulio vidury visur yra tas pats dydis. Tas pats reikia pasakyti ir apie laidininką bet kurios kitos formos. Potencialas ant laidininko paviršiaus visuomet yra tas pats kaip laidininko vidury, nes elektros lauko intensingumas laidininko vidury yra lygus 0.



67 pieš.

Ištiesime dabar visą eilę ekvipotencialinių paviršių apie teigiamai užtaisytą metalinį rutulį. Artindamiesi prie šito rutulio paviršiaus iš tolumos, mes iš eilės pasieksime vis augštesnio ir augštesnio potencialo paviršius ir, pagaliau, pasieksime rutulio paviršių. Rutulio paviršiaus potencialas bus visų augščiausias, nes perėjęs per rutulio paviršių į jo vidurį potencialas nebesikeis. Iš to išeina, kad ir rutulio paviršius reikia laikyti ekvipotencialiniu paviršium. Vadinasi, ant rutulio paviršiaus visur potencialas bus to paties didumo, nes jeigu to nebūtų, mes turėtumėm ant rutulio paviršiaus elektros judėjimą tol, kol potencialai atskirų to paviršiaus dalių išsilygins. Mes jau matėme, kad ant rutulio paviršiaus elektros lauko intensingumas irgi visur bus tas pats ir veiks normaliai tam paviršiui, vadinasi, išilgai rutulio stipino. Tai reiškia, kad ir elektros tankumas ant to paviršiaus bus visur tas pats. Vadinasi, esant elektros pusiausvyrai ant rutulio paviršiaus, mes ant to paviršiaus turėsime vienodą elektros padalijimą ir visur tą patį elektros potencialą.

Jeigu mes paimsime kitos formos laidininką, sakysime, diską, tai nusistačius elektros pusiausvyrai ir visas to disko paviršius bus ekvipotencialinis paviršius, vadinasi, visur ant jo paviršiaus bus tas pats potencialas. Bet, kaip mes pamatysime vėliau, elektros tankumas ant tokio disko paviršiaus įvairiose vietose bus nevienodas.

Turint elektros lauką, sudarytą įvairiais laidininkais, reikia visuomet prie tų laidininkų priskaityti ir žemė, lygiai kaip ir vielos, jungiančios žemę su kitais laidininkais, nes žemė yra laidininkas. Perkeliant+elektros vienetą nuo ekvipotencialinio žemesnio potencialo paviršiaus į augštesnio potencialo paviršių, atliktas darbas bus visuomet lygus tų dviejų paviršių potencialų skirtumui, o jėga, veikianti tarp dviejų gretimų potencialinių paviršių, yra lygi tam potencialų skirtumui, padalytam į atokumą tarp tų dviejų potencialinių paviršių. Taigi visais atvejais mes turime darbo ne su absoliutinėmis potencialų vertėmis, o tik su jų skirtumais. Taigi, mes sauvališkai galime vienam iš kūnų priskirti potencialą nulį ir atatinkamai sumažinti potencialus kitų kūnų. Svarbūs mums potencialų skirtumai pasiliks tie patys. Elektros moksle žemės potencialas laikomas nuliu, nepaisant to, kad tas potencialas nėra nulis, kaip mes pamatysime vėliau. Taigi,

žemės paviršius yra nulinis ekvipotencialinis paviršius. Vadinasi, kiekvienas laidininkas, sujungtas su žeme, irgi visuomet turės potencialą nulį. O potencialas bet kurio laidininko, nesujungto su žeme (izoliuoto laidininko), einant šita konvencija, visuomet bus lygus darbui, kuris reikia atlikti, kad+elektros vienetas būtų perkeltas nuo žemės paviršiaus ligi laidininko paviršiaus arba — elektros vienetas nuo laidininko paviršiaus į žemės paviršių ta vienok sąlyga, kad toksai elektros vieneto perkėlimas nekeičia esamųjų sistemoje elektros įlydžių.

Nustatydami tokiu būdu nulinį elektros potencialą arba nulio ekvipotencialinį paviršių mes elgiamės taip pat, kaip yra nustatomas nulinis augštis ant okeano paviršiaus 45^0 geografinės platumos. Nuo šito paviršiaus mes matuojame visus augščius. Visos lygmės augštesnės už šitą paviršių laikomos teigiamomis, o žemesnės už šitą paviršių neigiamomis.

Taigi mes sakome, kad kūnas turi teigiamą elektrišką potencialą, kada teigiama elektra stengiasi tekėti nuo kūno į žemę, ir neigiamą potencialą, kada teigiama elektra stengiasi tekėti nuo žemės į kūną. Del neigiamos elektros visa kas bus atbulai. Jeigu mes sakome, kad laidininkas turi laisvą teigiamą arba neigiamą elektrą, tai reiškia, kad tas laidininkas turi teigiamą arba neigiamą potencialą.

Tarp užtaisyto laidininko elektros kiekio ir jo potencialo visuomet veikia pastovus santykis ta prasme, kad potencialas visuomet yra proporcingas elektros kiekiui. Iš tikrųjų, padidinus dusyk elektros kiekį ant laidininko mes dusyk padidinsime ir darbą, reikalingą tam, kad+elektros vienetas iš begalinio atokumo būtų perkeltas į laidininko paviršių. Pažymėsime laidininko elektros kiekį raide Q ir jo potencialą raide V. Kadangi santykis tarp elektros kiekio ir potencialo yra pastovus dydis, tai mes galime parašyti: $\frac{Q}{V} = C$. Šitas santykis C vadinasi laidininko elektros talpumu. Iš šito santykio išeina $Q = CV$, arba $Q = C$, jeigu $V = 1$. Vadinasi, toksai elektros kiekis, kuris reikia suteikti laidininkui, kad būtų pakeltas jo potencialas vienetu, bus to laidininko elektros talpumas, nelyginant kaip kubilo talpumu mes galime laikyti tą vandens kiekį, kuris reikia įpilti į kubilą, kad vandens paviršius jame pakiltų augštyn 1 metru.

Paimsime dabar metalinį rutulį radiuso r, užtaisytą elektros kiekiu Q. Tad to rutulio potencialas ant paviršiaus ir jo vidury bus $\frac{Q}{r}$. Vadinasi, metalinio rutulio talpumas (ar tuščio, ar masingo, vistiek) bus lygus $Q : \frac{Q}{r} = r$ cm. Taigi, rutulio talpumas visuomet yra lygus radiui ir absoliutinis talpumo vienetas bus čionai 1 cm.

Labai dažnai ir kitos formos laidininkams galima apskaityti elektros talpumas. Taip metalinio skritulio radiuso r elektros talpumas yra lygus $\frac{2r}{\pi}$ cm. Dažniausiai del to tenka laidininko talpumas nustatyti bandymais, atliekant elektros kiekio matavimus tam tikrais aparatais, apie kuriuos kalbėsime vėliau.

Eidami Coulombo dėsniu mes nustatėm elektros vienetą tam tikru elektros kiekiu, kuris lygų jam elektros kiekį atokume 1 cm. veikia 1 dinos jėga. Tai yra elektrostatinis elektros vienetas, išreikštas absoliutiniais c. g. s. vienetais.

Kadangi potencialą mes matuojame darbu, tai absoliutinis potencialo vienetas bus darbo vienetas, vadinasi, 1 ergas. Taigi tarp dviejų taškų veikia potencialų skirtumas, lygus c. g. s. elektrostatiniam potencialo vienetui, kada perkeliant augščiau apibrėžtą elektros vienetą iš vieno taško į kitą reikia atlikti 1 ergas darbo. Jeigu mes perkelsime Q elektrostatinių elektros vienetų iš taško su potencialu V_1 į tašką su potencialu V_2, tai mes atliksime darbą $A = Q(V_2 - V_1)$ ergų.

Mes vėliau susipažinsime su vadinamais absoliutiniais elektromagnetiniais įvairių elektros dydžių vienetais, kurie praktikoje ir mokslo srityje dažniausiai šiandien vartojami. Taip pat mes vėliau pamatysime, kad tarp elektromagnetinių elektros dydžių vienetų ir elektrostatinių vienetų veikia tam tikras santykis, kuris yra lygus 3.10^{10} (švie-

sos greitumas cm.) arba šito dydžio laipsnis. Taigi žiūrint šitų santykių elektros kiekiai dažniausiai išreiškiami kulonais ir, kaip jau mes anksčiau matėme, 1 Cb. (1 kulonas) = $3{,}10^9$ augščiau apibrėžtų elektrostatinių elektros vienetų. Atatinkami praktikoje ir mokslo srityje potencialai (arba jų skirtumai) išreiškiami ne ergais, bet voltais, žiūrint to, kad dažnai vartojamas praktikoje darbo vienetas jau yra žinomas mums iš dinamikos ir termodinamikos 1 Joulis (skaityk Džaulis) = 10^7 ergų. Tad priimant lygtyje $A=Q\,(V_2-V_1)$: **$A = 10^7$ ergų,** $Q=3.10^9$ elektrostatinių elektros vienetų ir $V_2-V_1=1$ voltui, mes iš lygties $10^7=3.10^9.1$ voltas gausime 1 voltas $= \frac{10^7}{3.10^9} = \frac{1}{300}$ elektrostatinių vienetų.

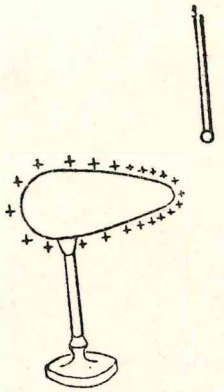
Pagaliau išreikšdami laidininkų talpumą centimetrais, mes labai dažnai turėsime darbo su labai dideliais skaičiais. Pavyzdžiui, žemės elektros talpumas bus lygus jo radiui = 637.10^6 cm.. Taigi, kad turėtume patogesnius skaičius elektros talpumui matuoti, imame didelį vienetą, būtent, 1 Faradą (1 F). Iš duoto talpumo apibrėžimo išeina 1 F = $3.10^9 : \frac{1}{300} = 9.10^{11}$ elektrostatinių vienetų. Taigi žemės elektros talpumas, išreikštas Faradais, bus

$$\frac{637.10^6}{9.10^{11}} = 7.10^{-4} \text{ Faradų.}$$

Farado milioninė dalis vadinasi 1 mikrofaradas. $1\mu F = \frac{9.10^{11}}{10^6} = 9.10^5$ elektrostatinių vienetų. Taigi žemės elektros talpumas mikrofaradais bus $7.10^{-4}.10^6 = 700$.

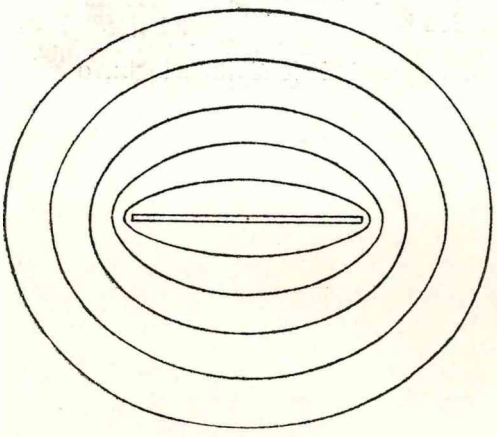
6 §. Įlydžio padalijimas ant laidininko paviršiaus. Smailgalio veikimas. Metodas gauti didesniems elektros kiekiams. Trynimo elektros mašinos. Elektros išlydis kibirkšties pavidalu. Keletas bandymu su elektros mašina. Indukcijos mašinos. Elektroforas. Vandens lašų mašina (lordo Kelvino). Wimshurst'o mašina.

Pirmieji aparatai, kuriais XVIII šimtmetyje ir pradžioj XIX šimtmečio buvo gaunama elektra didesniais kiekiais, buvo trynimo elektros mašinos įvairios konstrukcijos. Paėmę cilinderį iš sieros arba kietos dervos, įdėję jį ašimi į pakakles ir aprūpinę jo ašį rankena iš izoliuojamos medžiagos, mes turėsime paprasčiausią trynimo elektros mašiną. Uždėję delną ant cilinderio ir sukdami jį mes trynimu sudarysime neigiamą elektrą ant cilinderio, o teigiamą elektrą ant rankos, kuri per mūsų kūną nutekės į žemę. Sujungus metaliniu laidininku cilinderio paviršių su izoliuotu konduktorium galima bus sutaupyti tam tikras kiekis neigiamos elektros ant šito konduktoriaus. Kad suprastume konstrukciją ir veikimą tobulesnės elektros trynimo mašinos, pasipažinsime iš pradžios su smailių laidininko dalių veikimu, kuris pareina nuo to, kad elektros tankumas būna juo didesnis ant laidininko paviršiaus, juo tos dalies laidininko paviršiaus kreivumas didesnis, ir atbulai. Vadinasi, esant elektros įlydžiui pusiausvyroje ant laidininko paviršiaus, mes turėsime visur ant to paviršiaus tą patį elektros potencialą, bet nevienodą elektros tankumą. Paimsime laidininką kiaušinio pavidalu ant izoliacijos koto, kurį atvaizduoja 68 piešinys, ir užtaisysime šitą laidininką teigiamai. Sujungus bet kurią to laidininko paviršiaus vietą su jautriu elektroskopu, elektroskopo lapeliai persiskirs visuomet tuo pačiu kampu, vadinasi, elektros potencialas per visą paviršių šito laidininko yra tas pats. Bet jeigu mes paimsime bandymo plokštelę arba bandymo rutuliuką ir paliesime tuo rutuliuku iš pradžios bukų kiaušinio galą

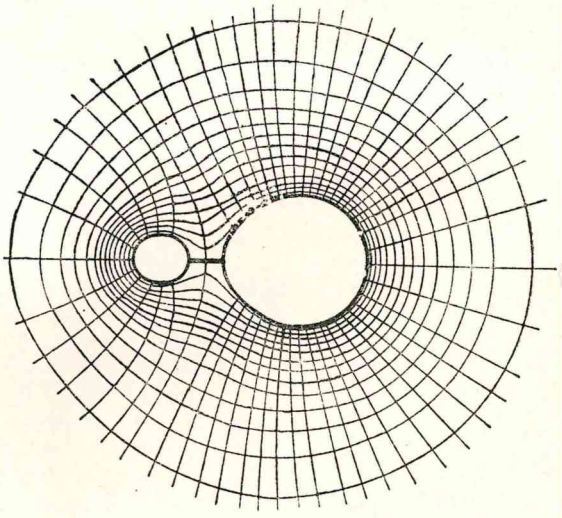


68 pieš.

ir paskui paliesime tuo pačiu rutuliuku elektroskopo lėkštę arba elektroskopo rutuliuką, tai elektroskopo lapeliai persiskirs tam tikru kampu. Dabar išlydysime rutuliuką ir elektroskopą ir paliesime rutuliuku aštrų kiaušinio galą. Palietę bandymo rutuliuku elektroskopo rutuliuką mes konstatuosime, kad lapeliai persiskirs smarkiau. Taigi išeina, kad esant įlydžiui pusiausvyroje ant laidininko paviršiaus daugiausia elektros susitaupo ant aštraus laidininko galo ir mažiausia plokštesnėse to laidininko vietose, kaip rodo 68 piešinys. Vadinasi, elektros tankumas ant laidininko, kurio paviršius įvairiose vietose turi įvairų kreivumą, yra tiesioginiu būdu proporcingas tam kreivumui. Jeigu ta ar kita laidininko dalis yra labai smaili, nelyginant kaip adatos galas, tai tokios dalies kreivumas yra be galo didelis (vadinasi, radius be galo mažas) ir, vadinasi, elektros tankumas ant labai smailaus galo irgi yra be galo didelis. Bet, kaip mes jau žinome, lauko intensingumas arti nuo laidininko paviršiaus ir, vadinasi, elektros jėga arti nuo to paviršiaus pareina nuo tankumo ir yra tiesioginiu būdu jam proporcinga. Taigi indukcijos veikimas užtaisyto laidininko smailių dalių yra ypatingai smarkus. Oro dalelės smarkiai traukiamos prie tokių aštrių galų, nes tose oro dalelėse indukuojama priešinga elektra kaip ant aštraus galo. Pritrauktos prie aštraus laidininko galo oro dalelės nustoja priešingos elektros, ant jų pasilieka tos pačios rūšies elektra kaip ant smailaus galo ir todel jos smarkiai atšoka nusinešdamos su savimi nuo laidininko tam tikrą kiekį elektros. Taigi, nuo smailių laidininko galų eina oro srovės, dažnai tiek smarkios, kad primena silpną vėją. Aprūpinę smarkiai užtaisytą laidininką adata ir pastatę prieš tą adatą žibančią žvakę, aiškiai pamatysime, kad žvakės liepsna atsilenks taip, kad, tarytum, iš adatos galo pučia vėjas. Nesunku suprasti, kad užtaisytas laidininkas aprūpintas smailgaliu labai greitai bus išlydytas šita smarkia oro dalelių srove. Aprašytą čia elektros judėjimą mes vadiname elektros konvekcija, nes čia, taip sakant, elektra nuneša nuo laidininko oro daleles. Antra vertus, smailgalio indukcijos veikimu galime pasinaudoti, kad užtaisytume laidininką elektra. Paimsime du laidininkus A ir B. Užtaisysime laidininką B, sakysime, teigiama elektra, o laidininką A aprūpinsime smailgaliu ir priartinsime tą



69 pieš.



70 pieš.

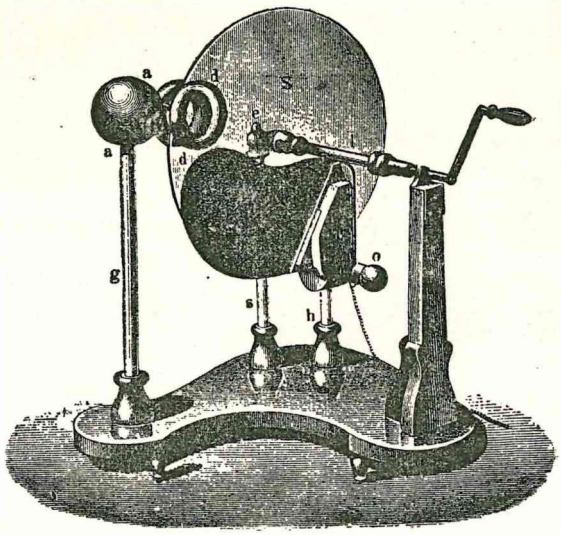
smailą galą prie laidininko B, neliesdami vienok to laidininko. Tada neigiama laidininko A elektra, pritraukta prie smailaus galo, bus labai didelio tankumo ir neutralizuos teigiamą laidininko B elektrą. Ant laidininko A pasiliks teigiama elektra. Čia išeina taip, kad, tarytum, smailgalis iščiulpia teigiamą elektrą iš laidininko B ir perduoda tą elektrą laidininkui A.

69 piešinys atvaizduoja ekvipotencialinius paviršius užtaisyto elektriškai laidininko apskritos plokštelės pavidalu arba skritulio. Ekvipotencialiniai paviršiai ypatingai tirštai

susigrūdę apie skritulio krantus, kur mes turime labai griežtą paviršiaus kreivumo atmainą. Vadinasi, apie krantus veiks ypatingai smarkios elektriškos jėgos. Taigi, turėdami laidininkus plokštelių pavidalu privalome padaryti tų plokštelių krantus kiek galima apvalesnius, kad užtaisytas laidininkas galėtų ilgiau išlaikyti elektrą.

70 piešinys atvaizduoja ekvipotencialinius paviršius dviejų laidininkų, sujungtų viela. Iš piešinio aiškiai matyti, kad ekvipotencialinės linijos ypatingai tirštai yra susigrūdę apie mažesnio rutulio ašigalį ir žymiai rečiau susigrūdę apie didesnio rutulio ašigalį. Statmenos toms ekvipotencialinėms linijoms elektros jėgų linijos irgi yra susigrūdusios smarkiau apie mažesnio rutulio ašigalį. Vadinasi, elektros tankumas ant mažesnio rutulio paviršiaus yra didesnis kaip ant didesnio rutulio paviršiaus, ir todel elektros jėga ant mažesnio rutulio ašigalio yra visų smarkiausia.

Aprašysime dabar trumpai tobulesnės konstrukcijos trynimo elektros mašiną. Tokią mašiną atvaizduoja 71 piešinys. Mes čia turime stiklo diską S, dažniausiai apie 0,5 metro diametro, per kurio vidurį eina ašis, įdėta į atatinkamas pakakles. Ašis aprūpinta rankena. Iš dešinės pusės, iš apačios, disko dalis randasi tarp dviejų pagalvių. Tie pagalviai sudėti iš medinės lentos, apklotos vailoku ir paskui dar oda. Oda apklota plonu sluogsniu amalgamos iš 1 dalies gyvojo sidabro, 1 dalies cinko ir 1 dalies alavo. Taigi, sukant už rankenos stiklo diską, jis iš vienos ir iš antros pusės trinsis į padėklų amalgamą ir elektrizuosis teigiamai, tuo tarpu padėklų amalgama elektrinsis neigiamai. Kad stiklas nesprogtų arba kad jis nenutrintų amalgamos nuo padėklų, reikia, kad tie padėklai būtų tik lengvai priglausti prie stiklo, o ne prispausti. Padėklų amalgama metališkai sujungta su konduktorium O, ant kurio tokiu būdu renkasi—elektra. Grandinė užkabinta ant šito konduktoriaus O nuleidžia šitą elektrą į žemę. Sukant stiklo diską sulig laikrodžio rodikliu, dalis stiklo, praėjus tarp padėklų, užtaisyta + elektra kyla augštyn ir patenka į tarpą tarp dviejų medinių žiedų arba grandžių dd. Ir vienas ir antras žiedas gausiai aprūpinti trumpais metališkais smailgaliais (dantimis), atkreiptais į stiklą iš vienos ir iš antros pusės, bet taip, kad neliestų stiklo. Šita mašinos dalis vadinasi kolektorius. Su abiem žiedais metališkai sujungtas mašinos konduktorius a pavidale tuščio metalinio rutulio ant stiklo kojos ag del izoliacijos. Užtaisyta + elektra stiklo dalis, patekusi tarp žiedų, veikia konduktorių a per indukciją: neigiama to konduktoriaus a elektra iš vienos ir iš antros pusės stiklo disko pritraukiama prie dantų galų ir, kadangi tos elektros tankumas ant dantų galų yra be galo didelis, tai ji neutralizuoja teigiamą stiklo elektrą. Tokiu būdu ant konduktoriaus a pasilieka teigiama elektra. Vaisius toks, kad, tarytum,kolektorius iščiulpia+elektrą iš stiklo ir suteikia ją konduktoriui a. Sukant stiklo diską S, rinksis vis daugiau ir daugiau teigiamos elektros ant konduktoriaus a. Bet taupyti neapribotu būdu elektros ant konduktoriaus a negalima. Elektra rinksis ant konduktoriaus a tol, kol jo potencialas pasidarys lygus elektros potencialui stiklo paviršiaus ties kolektoriaus dantimis. Šitas stiklo paviršiaus potencialas pareina nuo potencialų skirtumo arba nuo elektrovaromosios jėgos, kuri perskiria elektrą toje vietoje, kur stiklas trinasi į padėklų amalgamą. Taigi, nuo trynimo vietos+elektra konvekcijos keliu patenka tarp kolektoriaus dantų (sukant stiklo diską užtaisyto stiklo dalis patenka tarp kolektoriaus dantų). Nuo dantų į stiklo diską



71 pieš

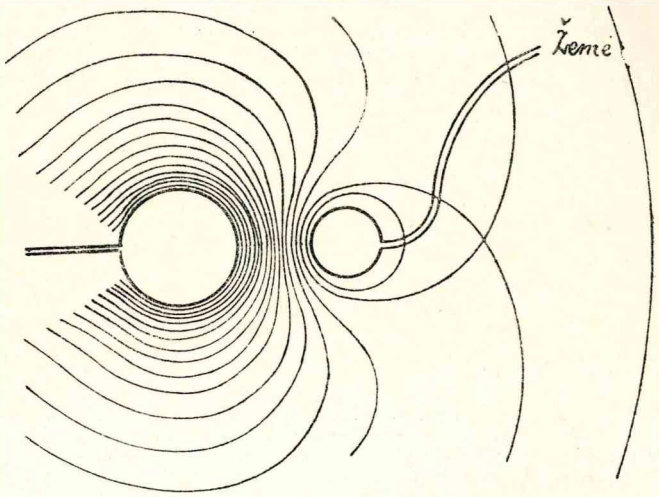
pučia elektriškasai vėjas, kuris suteikia stiklui — elektrą. Mašinos konduktore tauposi + elektra (indukcijos keliu). Trynimu sudaryta ant pagalvių — elektra nuteka per grandinę į žemę. Iš pradžios konduktoriaus a potencialas žemesnis kaip potencialas stiklo tarp kolektoriaus dantų. Taigi,—elektra teka nuo dantų į stiklo paviršių (nuo žemesnio + potencialo į augštesnį + potencialą). Bet konduktoriaus a potencialas greitu laiku pasiekia tą patį didumą kaip stiklo potencialas tarp kolektoriaus dantų ir tada —elektros srovė iš kolektorio dantų sustoja ir, vadinasi, sustoja ir taupymasis + elektros ant konduktoriaus per indukciją. Pasiekus tokiu būdu konduktoriui maximum įlydžio, stiklo diskas, sukant jį toliau, palaiko trynimu įgytą elektros įlydi, ir todel tolimesnis elektros perskyrimas trynimu nebegalimas. Reikia vienok pasakyti, kad toksai statinis mašinos padėjimas galima būtų pasiekti tik tada, jeigu mašinos visų dalių izolacija būtų tobula. Tikrenybėje to nėra ir todel visą laiką stiklo diskas ir konduktorius nustoja šiek tiek elektros ir šitie nuostoliai kompensuojami tolimesniu elektros perskyrimu trinantis stiklo diskui į padėklus. Kad būtų sumažintas, kiek galima labiau, elektros nutekėjimas nuo stiklo disko, bent ant tos dalies stiklo disko, kuri randasi tarp padėklų ir kolektoriaus, šita stiklo disko dalis iš vienos ir iš antros pusės apsiausta šilku, kaip rodo 71 piešinys. Šitas šilkas šiek tiek palaiko įgytą elektros būklę, apgindamas stiklo diską nuo dulkių ir nuo oro dalelių judėjimo, iš dalies, lengvai trinantis stiklui į šilką, ant stiklo irgi susidaro + elektra.

Stiklo paviršius tarp kolektoriaus žiedų dd turi teigiamą potencialą, sakysime + V. Paklodų (arba pagalvių) amalgama, į kurią trinasi stiklas, turi neigiamą potencialą, sakysime — V. Taigi, nuo stiklo paviršiaus ties kolektoriaus dantimis ligi paklodų mes turime kritimą potencialo nuo + V ligi — V ir kaipo išdava pastangą stiklo + elektros susijungti su paklodų — elektra. Sukdami stiklo diską mes atliekame darbą, kuris ir kompensuoja pastangą + elektros susijungti su — elektra, taip kad teigiama stiklo paviršiaus elektrifikacija čionai yra mechaniško darbo išdava. Aišku vienok, kad tik dalis mūsų atlikto mechaniško darbo virsta čia elektra, o kita dalis, ir kaip tik didžioji dalis, virsta čia šilima del trynimo stiklo į paklodus.

Atjungus paklodų konduktorius o nuo žemės, tasai konduktorius įgys potencialą —V, tuomet kaip konduktorius a įgys potencialą + V. Tokiomis sąlygomis mašinos elektrovaromoji jėga (ta jėga, kuri skiria abidvi elektras toje vietoje, kur stiklas trinasi į paklodus) yra lygi + V — (— V) = 2 V. Sukdami mašiną mes pasieksime statinę būklę, kitaip sakant, potencialai konduktorių a ir o pasieks tam tikrą maximumą + V ir — V tada, kada tiek pat susijungs stiklo + elektros su — elektra pagalvių del tekėjimo + elektros nuo augštesnio potencialo tarp kolektoriaus dantų į žemesnį potencialą tarp pagalvių, kiek mes savo darbu perskirsime elektros trynimo pagalvių vietoje. Taigi, pasiekę tokią būklę ir sukdami toliau stiklo diską, mes nieko nebepelnysime, nes kiek sudarysime teigiamos ir neigiamos elektros, tiek tų elektrų bus neutralizuota. Sujungus pagalvių konduktorių o su žeme, jo potencialas pasidarys lygus nuliui (tiksliai kalbant jo potencialas pasidarys lygus žemės potencialui, bet šitą žemės potencialą mes jau anksčiau sutikome laikyti potencialo nuliu). Bet tada mašinos konduktoriaus a potencialas bus + 2V. Taip pat sujungus šitą konduktorių a su žeme, jo potencialas pasidarys lygus nuliui, o potencialas konduktoriaus o bus lygus—2V. Vadinasi, mašinos konduktoriaus potencialas yra lygus mašinos elektrovaromajai jėgai, jeigu pagalviai sujungti su žeme.

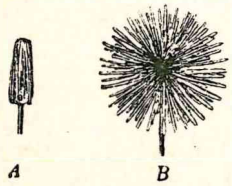
Atliksime dabar keletą paprasčiausių eksperimentų su trynimo mašina, sujungus tos mašinos pagalvius su žeme metaliniu retežiu. Priartinsime prie mašinos konduktoriaus a kitą konduktorių, mažesnį, rutulio pavidalu, sujungtą su žeme. Mašinos konduktorius a, užtaisytas + elektra, veiks per indukciją konduktorių, sujungtą su žeme, būtent, pritrauks to konduktoriaus — elektrą ant artimiausio nuo savęs paviršiaus ir nuvarys + elektrą į žemę. 72 piešinys duoda elektros lauko vaizdą tarp tokių dviejų konduktorių. Čia mes turime ištiestas ekvipotencialines linijas ir matome tų linijų labai didelį tirštumą tarp dviejų konduktorių. Vadinasi, mes čia turime ypatingai didelį elektrišką įtempimą ir tasai įtempimas gali pasidaryti tiek didelis, kad oro izoliuojamas sluogsnis tarp konduktorių bus pramuštas ir teigiama mašinos konduktoriaus elektra susi-

jungs su neigiama elektra konduktoriaus, kuris sujungtas su žeme. Tarp abiejų konduktorių peršoks elektros kibirkštis ir potencialų skirtumas tarp abiejų konduktorių išsilygins. Kadangi mažesnis konduktorius sujungtas čia su žeme, tai jo potencialas yra lygus nuliui ir, vadinasi, potencialų skirtumas tarp abiejų konduktorių čionai yra lygus potencialui mašinos konduktoriaus. Taigi kibirkštis yra takas, kuriame vyksta susijungimas + ir — elektrų. Tasai susijungimas sudaro šilimą ir visuomet nuskelia nuo konduktoriaus paviršiaus smulkias daleles. Šitos smulkios metalinės dalelės, lygiai kaip ir kitos kietos dalelės, kurios randasi ore tarp abiejų konduktorių, nuo šilimos tiek smarkiai įkaista, jog ima leisti šviesą. Todel kibirkšties visuomet yra nušviestas elektros neutralizacijos takas ir kibirkšties šviesos spalva pareina nuo oro ir nuo tų kietų dalelių, kurių yra ore. Kadangi čia staiga susidaro gan didelis kiekis šilimos, tai oras staiga išsiplečia ir tuojau staiga traukiasi, taip kad ore susidaro išilginės bangos įvairaus periodo ir todel mes girdime traškėjimą, tarytum plyšta arba sprogsta smarkiai ištempta elastinga medžiaga. Plyšusi toki elastinga medžiaga atstato savo normalų padėjimą, kaip jau mes žinome, osciliacijomis arba vibracijomis. Mašinos konduktoriaus potencialą, kaip mes pamatysime vėliau, galima išmatuoti elektrometru, bet mes galime spręsti apie to potencialo didumą iš elektros kibirkšties ilgumo, nes juo didesnis bus tasai potencialas, juo didesnis bus įtempimas izoliatoriaus tarp dviejų konduktorių ir juo storesnį sluogsnį to izoliatoriaus pramuš kibirkštis pasiekus potencialui tam tikrą didumą. Antra vertus, pakankamai priartinus laidininką, sakysime pirštą prie užtaisyto mašinos konduktoriaus, mes visuomet ištrauksime iš to konduktoriaus kibirkštį, nes juo arčiau bus laidininkas nuo konduktoriaus, juo smarkiau bus susigrūdę tarp jų ekvipotencialiniai paviršiai ir, vadinasi, juo didesnės bus elektros jėgos, veikiančios ant laidininkų paviršių ir erdvėje tarp jų. Taigi artindami visuomet galime pasiekti tokią būklę, kad izoliatorius tarp mašinos konduktoriaus ir laidininko nebesugebės išlaikyti elektros įtempimo, bus pramuštas ir priešingos elektros susijungs sudarydamos kibirkšties reiškinį.



72 pieš.

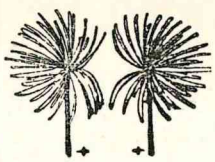
73 piešinys atvaizduoja metalinį stiebą su nedideliu rutuliuku iš viršaus. Šitas rutuliukas apklotas, kaip plaukais, daugybe plonų siaurų ir ilgokų popieriaus lapelių, taip kad primena sultoną (žiūr. figūrą A). Uždėsime šitą sultoną ant elektros mašinos konduktoriaus a (žiūr. 71 pieš.) ir suksime mašinos stiklo diską, sujungę su žeme mašinos pagalvius. Konduktorius a užsitaisys + elektra ir suteiks tokią pat elektrą sultono lapeliams. Kaipo išdava visi sultono lapeliai išsities radialiai, kaip rodo figūra B 73 piešinio. Taigi šitas eksperimentas rodo, kad jėgų linijos arba įtempimo linijos nuo paviršiaus nedidelio teigiamai užtaisyto rutuliuko skleidžiasi į visas puses radialiai. Galime paimti žemą staliuką ant stiklo kojų ir pastatyti ant to staliuko žmogų. Palietus jam mašinos konduktorių ranka, jo plaukai pasišiaus ir atsistos ant galvos taip, kad tęsis radialiai. Paėmę du tokius sultonus, kaip figūra A, padėję juos gan arti vienas nuo antro ir sujungus vieną iš jų su elektros mašinos teigiamu



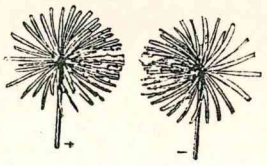
73 pieš.

konduktorium, o antrą su neigiamu konduktorium, mes gausime vaizdą, kurį duoda 74a piešinys. Tai bus elektrostatinio lauko vaizdas tarp dviejų priešingomis elektromis užtaisytų konduktorių. Sujungę abudu sultonus su dviejų elektros mašinų teigiamais konduktoriais, mes gausime vaizdą, kurį duoda 74 piešinys iš kairės pusės. Tai bus elektrostatinio lauko vaizdas tarp dviejų ta pačia elektra užtaisytų konduktorių.

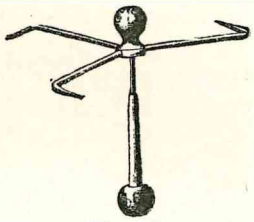
Priartinę ranką arba veidą prie elektros mašinos konduktoriaus A, mes aiškiai pajusime konduktoriaus elektrifikaciją, kitaip sakant, pajusime elektrostatinio lauko buvimą, nes mes turėsime tokį jutimą, kad, tarytum, prie veido prisikabina voratinklio siūlai. Konkretizuojant galima pasakyti, kad mes pajusime, kaip jėgų linijų, išeinančių iš konduktorio paviršiaus, galai prisikabina prie veido, kitaip sakant, kaip ant veido paviršiaus susidaro neigiamos elektros įlydis. Taigi, tarp veido ir konduktoriaus paviršiaus veikia tempimas ir mes pajaučiame savotiškai šitą tempimą.



74 pieš.



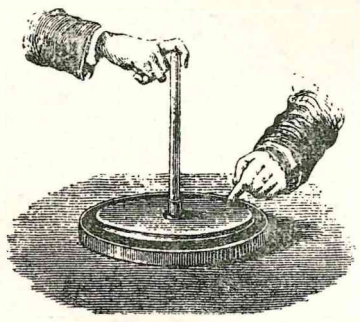
74 a pieš.



75 pieš.

75 piešinys atvaizduoja vadinamąjį elektrišką malūną. Tai yra metalinis stiebas, kuriuo viršutinis galas ištemptas adatos pavidalu. Ant tos adatos užmauta kepurėlė, prie kurios prijungti trys ploni metaliniai stiebai radialiai. Tų stiebų smailūs galai užlenkti ta pačia prasme, sakysime, iš kairės į dešinę pusę. Uždėsime šitą prietaisą ant elektros mašinos konduktoriaus a ir, sujungę mašinos pagalvius su žeme, imsime sukti mašinos stiklo diską. Stiebai bus užtaisyti elektra ir nuo jų smailų galų prasidės smarkios oro srovės. Tos oro srovės suteiks, einant atatrankos principu, judėjimo momentą smailiems galams priešinga kryptimi. Stiebai ims smarkiaisuktis iš dešinės į kairę pusę, jeigu jų galai užlenkti iš kairės į dešinę pusę, vadinasi, jeigu elektriškas vėjas iš tų galų pučia iš kairės į dešinę pusę. Taigi čia mes turime tą patį principą, kuriuo remiasi Segnerio rato veikimas.

Pridursime čia dar, kad iš elektros mašinos konduktoriaus galima ištraukti daug šviesesnės kibirkštys, sujungus su mašinos konduktorium medinį žiedą su viela vidury to žiedo. Šitas žiedas žinomas Winterio žiedo vardu ir jo reikšmė yra ta, kad jis padidina konduktoriaus elektros talpumą ir tokiu būdu padeda sutaupyti daugiau elektros prie to paties konduktoriaus potencialo. O juo daugiau išsilydys elektros prie to paties potencialo, juo šviesesnė bus kibirkštis.

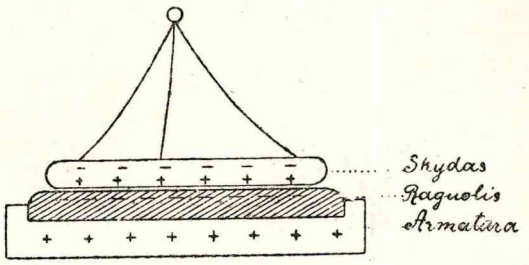


76 pieš.

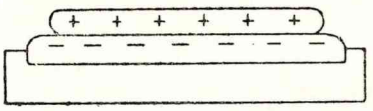
Aprašyta čia trynimo elektros mašina turėjo didelės reikšmės XVIII ir pradžioje XIX šimtmečio, nes tuomet tai buvo vienintelis aparatas, kuriuo galima buvo gauti didesnių elektros kiekių. Šiandien elektrifikacijai dažniausiai vartojama tobulesnės elektros mašinos, kurios remiasi elektros indukcija ir todel vadinasi indukcijos mašinos. Kaip jau mes anksčiau matėme, didžioji mechaniško darbo dalis trynimo mašinoje eikvojama trynimui pergalėti ir todel virsta šilima. Tiktai maža to darbo dalis virsta elektra. Indukcijos mašinose žymiai didesnė darbo dalis virsta elektra, nekalbant jau, kad ir kitais atžvilgiais tos indukcijos mašinos veikia daug geriau.

Paprasčiausia indukcijos elektros mašina, tai yra nuo XVIII šimtmečio žinomas elektroforas, kurio išorinę formą duoda 76 piešinys. Apatinę elektroforo dalį sudaro

plokščias metalinis cilinderis, pripildytas kietos dervos arba sieros. Šita dalis vadinasi elektroforo raguolis. Tokiu, geriausiu, elektroforo raguoliu būna ebonito diskas, uždėtas ant metalinės lėkštės. Viršutinė elektroforo dalis, tai yra, medinis skritulys, mažesnio diametro kaip raguolio diametras, apklotas iš visų pusių staniole (alavo lapu) arba, dar geriau, cinko skritulys, aprūpintas stikliniu arba ebonito kotu (vadinasi, kotu iš izoliuojamos medžiagos). Patrynę elektroforo raguolį flanėle arba pakapoję jį lapės uodega, ant raguolio paviršiaus mes sudarysime neigiamos elektros sluogsnį. Uždėjus ant raguolio metalinį skritulį, to skritulio elektra bus perskirta per indukciją (žiūr. 77 piešinys iš viršaus): teigiama elektra bus pritraukta prie metalinio skritulio apačios, o neigiama elektra bus nustumta ant viršutinio skritulio paviršiaus. Dalykas tas, kad visiškai lygių paviršių tikrenybėje nėra. Visi paviršiai turi nelygumų, ir todel, uždėję metalinį skritulį ant raguolio, mes turėsime betarpišką kontaktą tiktai kai kuriose vietose, o daugumoje vietų tarp apatinio skritulio paviršiaus ir viršutinio raguolio paviršiaus bus labai ploni oro sluogsniai. Taigi, per tuos sluogsnius veiks indukcija ir veiks labai smarkiai, nes tie oro sluogsniai labai ploni. 77 piešinys pabrėžia šitą dalyką tuo, kad tarp metalinio skritulio ir raguolio rodo labai ploną oro protarpį. Paliesime dabar pirštu metalinį skritulį, kaip rodo 76 piešinys. Nesurišta skritulio — elektra nutekės į žemę. Ant skritulio pasiliks tik teigiama elektra, kaip rodo 77 a piešinys. Nukėlę už izoliuojamos rankenos šitą metalinį skritulį nuo raguolio, mes turėsime teigiamai užtaisytą skritulį, ir artindami prie jo pirštą ištrauksime iš jo kibirkštį ir tokiu būdu išlydysime jį. Visas aprašytas čia manipuliacijas mes dabar galime atkartoti. Vadinasi, vienąsyk užtaisę neigiamai ebonito raguolį, jeigu tik mes dirbame sausame ore ir be dulkių, mes galime ant metalinio disko gauti neapribotų teigiamos elektros kiekių sąskaiton to darbo, kuris reikia atlikti nukeliant metalinį diską nuo raguolio paviršiaus, nes reikia pergalėti traukos jėga, veikianti tarp raguolio — elektros ir metalinio skritulio + elektros (žinoma, čia dar reikia atlikti tam tikras darbas prieš svorio jėgą keliant augštyn metalinį skritulį, bet šitas darbas nieko bendra neturi su metalinio skritulio elektrifikacija).



77 pieš



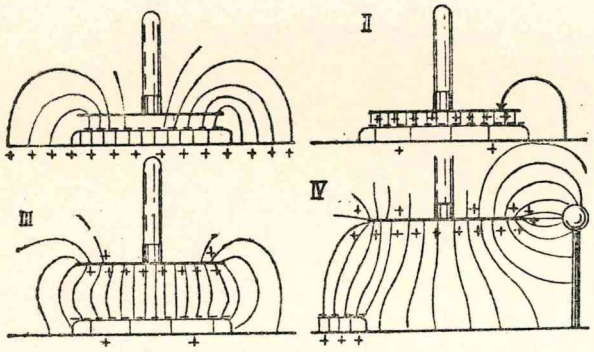
77 a pieš

Apatinė metalinė lėkštė reikalinga tam, kad būtų surišta — ebonito raguolio elektra + elektra (kuri susidaro per indukciją) lėkštės, kaip tai matyti iš viršutinio vaizdo 77 piešinio. Susidariusi per indukciją lėkštės — elektra nuteka į žemę, nes elektroforo lėkštė sujungta su žeme (padėta, sakysime, ant stalo). Tokiu būdu suteikta ebonito raguoliui — elektra ilgiau išsilaiko, nes ne taip greit išsisklaido nuo raguolio paviršiaus per konvekciją dulkiu ir oro dalelių. Palietus metalinį skritulį pirštu — skritulio elektra susijungia su + lėkštės elektra (neutralizuojasi) per žemę ir tada mes turime vaizdą, kurį rodo 77 a piešinys. Nukeliant metalinį skritulį reikia atlikti darbas prieš traukos jėgą tarp + elektros skritulio ir — elektros raguolio. Nukėlus metalinį skritulį — elektra raguolio darosi laisva ir per indukciją vėl sudaro + elektros sluogsnį ant lėkštės paviršiaus.

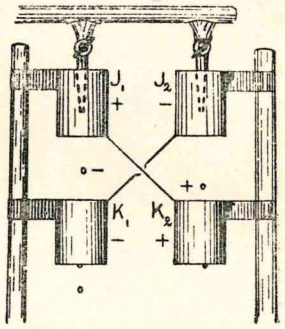
Pasinaudosime dar 78 piešiniu, kad išaiškintume elektroforo veikimą remiantis elektros jėgų linijų koncepcija. 78 piešinio vaizdas I rodo elektros būklę, patrynus ebonito raguolį flanėle ir uždėjus ant to raguolio metalinį (cinko) diską. Kad būtų parodyta, kad nėra pilno kontakto tarp disko ir raguolio paviršių, tarp tų dviejų paviršių parodytas nedidelis tarpas, per kurį veikia indukcija, ir juo smarkiau, juo mažesnis tas tarpas. Jėgų linijos eina nuo + įlydžio ant lėkštės į — įlydį ant ebonito paviršiaus.

Kai kurios iš tų jėgų linijų eina nuo + įlydžio ant lėkštės į metalinį diską (žiūr. iš šalių). Tų linijų galai sudaro tam tikrą — įlydį ant cinko disko paviršiaus. Kai kurios linijos eina nuo disko paviršiaus į įlydį ebonito. Tos linijos ant disko paviršiaus sudaro + įlydį.

Palietę pirštu cinko diską mes turime elektros būklę, kurią rodo II vaizdas. Jėgų linijos, kurios ėjo nuo lėkštės + įlydžio į cinką susitraukia, kitaip sakant, + elektra lėkštės neutralizuoja — elektrą cinko disko, pasiliekant nedideliam pertekliui + elektros ant lėkštės. Dauguma jėgų linijų eina dabar nuo + įlydžio disko į — įlydį ebonito per siaurą tarpą tarp jų paviršių.



78 pieš.



79 pieš.

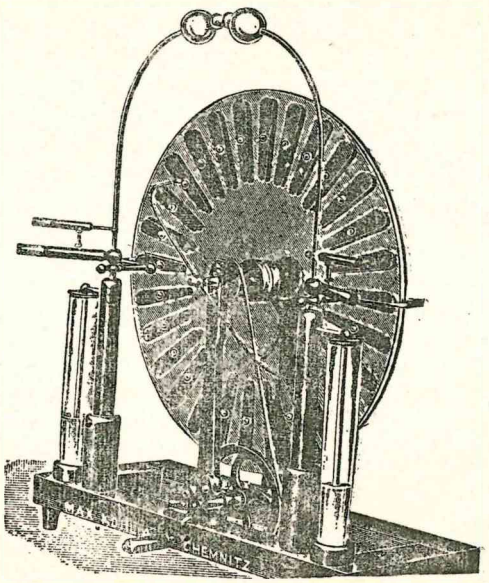
Vaizdas III rodo, kas darosi nukeliant cinko diską nuo ebonito: jėgų linijos tempiamos ir, vadinasi, tempiant jas atliekamas tam tikras darbas. Tempiant kai kurios jėgų linijos trūksta ir jų galai arba neapribotai tęsiasi erdvėje arba prisikabina prie gretimų laidininkų, kaip ranka, stalas ir t. t. Pagaliau, kaip rodo IV vaizdas, pakankamai toli nukėlus cinko diską jėgų linijos nuo to disko paviršiaus skleidžiasi į visas puses, prisikabindamos prie laidininkų, kur tik galima, ir dažnai sudarydamos elektros lauką tokio didelio įtempimo, kad oro sluogsnis pramušamas ir priešingos elektros susijungia kibirkštie̊s pavidalu (žiūr. iš dešnės pusės IV vaizdo, kur parodyta ypatingai didelis įtempimas tarp cinko disko ir metalinio rutuliuko). O raguolis pasilieka su tuo kiekiu — elektros, kuris buvo jam suteiktas iš pradžios, trinant jį flanėle arba plakant jį lapės uodega. Taigi, nukeldami cinko diską nuo ebonito, mes sudarome įtempimą tarp priešingai užtaisytų kūnų, sudarome, vienu žodžiu, potencinę energiją, kuri gali pasireikšti kinetinės energijos pavidalu arba šilimos, šviesos ir garso pavidalu, kada tasai įtempimas išsilygina per elektros kibirkštį.

Labai paprastą elektroforą sudaro šiurkštus storas mėlynas arba bėras popierius, į kurį pakuojamos cukraus galvos. Paėmę tokio popieriaus lapą ir pakaitinę jį gerai, laikydami prieš krosnies liepsną, patriname jį šepečiu (kaitinti reikia, kad būtų išvaryta iš popieriaus drėgmė). Uždėję paskui ant to popieriaus metalinį objektą, sakysime, šaukštą, kuris turi būti aprūpintas izoliacijos rankena arba izoliuojančiu siūlu, mes turėsime elektroforą. Palietus šaukštą pirštu ir nukėlus jį su pagalba izoliacijos siūlo nuo popieriaus lapo (labai dažnai popieriaus lapas tiek smarkiai pritrauktas prie šaukšto, kad reikia popierius prilaikyti antra ranka, kad galima būtų atplėšti nuo jo šaukštas), artinant prie šaukšto pirštą dažnai gaunama gan stipri kibirkštis.

Kita, labai paprastos konstrukcijos, indukcijos mašina yra vadinamoji vandens lašų mašina, lordo Kelvino padirbta, kurią lengvai gali sau pasidirbti kiekvienas vikrus vaikas. Kelvino mašinos schemą atvaizduoja 79 piešinys. Viršuje mes čia turime vandentiekio vamzdį su dviem kranais, atidarytais tiek, kad iš jų laša vanduo. Tų kranų galai įeina į tuščius skardinius cilinderius I_1 ir I_2, prijungtus prie storų stiklo stiebų, kaip rodo piešinys. Cilinderių I_1 ir I_2 apačioje padėti du kiti skardiniai cilinderiai K_1 ir K_2 su skylėtais dugnais. Šitie du cilinderiai irgi prijungti prie storų stiklo stiebų ir sujungti storomis vielomis kryžmais su cilinderiais I_1 ir I_2, kaip rodo piešinys.

Suteiksime cilinderiui I_1 nedidelį + elektros įlydį, paliesdami, sakysime, šitą cilinderį patrinta amalgama stiklo lazda. Tasai + įlydis per indukciją sudaro — įlydį ant krano žioties ir ant vandens lašo, kuris kabo nuo tos žioties. Lašas nutrūksta nuo krano žioties, krinta ant dugno cilinderio K_1 ir atiduoda tam cilinderiui savo — elektros įlydį, kuris tuojau pasidalyja tarp cilinderių K_1 ir I_2, nes tie cilinderiai sujungti viela. Taigi cilinderis I_2 būna užtaisytas — elektra ir jo — įlydis per indukciją sudaro + įlydį ant žioties krano jo vidury ir ant vandens lašo, kuris išeina iš tos žioties. Nutrūkęs lašas nuneša tą + įlydį ir atiduoda jį cilinderiui K_2. Susitaupęs cilinderiuose K_1 ir K_2 vanduo, atsipalaidavęs nuo elektros įlydžių, nuteka per tų cilinderių dugno skyles (nedideles skyles). Taigi, čionai vandens lašai didina elektros įlydžius ant visų keturių cilinderių. Vadinasi, vandens lašų kritimo energija virsta čionai elektros energija. Toksai įlydžių didinimas tęsiasi tol, kol elektros įlydžiai ant cilinderių K_1 ir K_2 tiek smarkiai ima stumti vandens lašus, užtaisytus elektra, jog ima taškyti vandenį į visas puses, sušlapina stiklo ramsčius ir sumažina tokiu būdu jų izoliaciją. Sujungus cilinderius I_1 ir K_2 ir I_2 ir K_1 su izoliuotais metaliniais rutuliukais ir pakankamai priartinus tuos rutuliukus vienas prie kito, galima gauti gan stiprių kibirkščių.

Yra įvairių konstrukcijų indukcijos arba elektroforinės mašinos. Bet šiandien dažniausiai vartojama Wimshursto elektrofinė mašina, kuri labai gerai veikia ir kuria labai patogu manipuliuoti. 80 piešinys duoda tos mašinos bendrą vaizdą. Mes čia turime du stiklo arba ebonito diskus, užmautus ant ašių taip, jog tarpas tarp tų diskų būna nedidesnis kaip 4 — 5 m. m. Iš pryšakio matyti ratas su rankena. Tasai ratas užmautas ant suktuvo, ant kurio iš užpakalio (piešiny nematyti) užmautas toks pat ratas. Per pryšakinį ratą ir pryšakinio disko skriemulį permestas tiesiai begalinis šniūras, o per užpakalinį ratą ir skriemulį užpakalinio disko begalinis šniūras permestas kryžmais. Taigi sukant už rankenos suktuvą abudu stiklo arba ebonito diskai suksis į priešingas puses. Kaip rodo piešinys, pryšakinis diskas apklotas segmentais iš staniolės. Tokių segmentų būna ne mažiau kaip 16 arba 32. Juo daugiau tų segmentų, juo geriau veikia mašina. Užpakalinis diskas irgi apklotas tokiais pat segmentais ir to paties skaičiaus, tiktai išorėj, taip kad einant nuo segmento pryšakinio disko į segmentą užpakalinio disko mes turime ebonito sluogsnį, oro tarpą ir vėl ebonito sluogsnį. Vadinasi, segmentai vieno ir antro disko bus trimis izoliatoriaus sluogsniais atskirti. Šitie metaliniai segmentai vadinasi induktoriai arba elektros nešėjai.

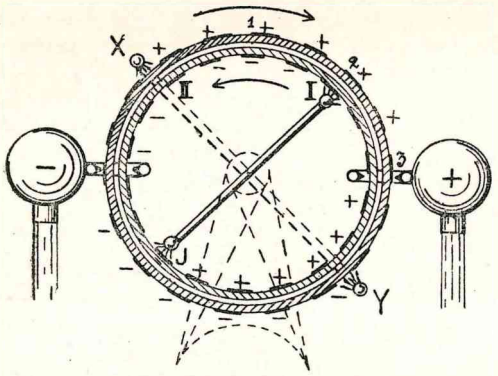


80 pieš.

Iš pryšakio mes čia dar matome metalinį stiebą su užlenktais galais. Tie galai aprūpinti plonos vielos šepečiukais ir tie šepečiukai liečia diametringai priešingus disko segmentus. Šitas metalinis stiebas vadinasi elektros iškroviklis ir jis dažniausiai padedamas taip, kad sudaro kampą 45° su gulsčiu disko diametru. Toksai pat metalinis stiebas (iškroviklis) randasi ir ant užpakalinio disko. Tasai užpakalinis stiebas padėtas taip, kad jis sudaro kampą 90° su priešakiniu stiebu arba iškrovikliu. Bet dažnai tenka mėginimu surasti tokis kampas tarp dviejų iškroviklių, prie kurio mašina veikia geriausia. Pagaliau ant galų gulsčio diametro randasi dvi metalinės šakutės, kurios apima abudu diskus. Šitos šakutės iš vidaus (į diskų pusę) aprūpintos visa eile dantų. Tų dantų galai randasi labai arti nuo diskų paviršių, bet neliečia tų paviršių. Šitos šakutės vadinasi mašinos kolektoriai. Su jomis sujungti du užlenkti metaliniai stiebai, gan

stori, kurie baigiasi rutuliais. Be to, prie tų pačių šakučių galima dar prijungti, kaip rodo priešinys, du kondensatoriai dviejų Leydeno bonkų pavidalu, kad būtų padidintas mašinos talpumas, kaip tai bus išaiškinta toliau. Pradedant dirbti su tokia mašina reikia jos konduktorius priartinti vienas prie antro, taip kad tarp jų pasiliktų nedidelis oro protarpis. Sukant diskus tuojau pradeda šokti kibirkštys tarp rutulių. Tolinant dabar nuosakiai mašinos konduktorius vienas nuo antro, galima gauti gan didelių ir smarkių kibirkščių. Išjungus Leydeno bonkas, kibirkštys dažniau seka viena kitą, bet užtat jos žymiai silpnesnės ir sudaro daug mažiau triukšmo.

Kad suprastume Wimshursto mašinos veikimą, pasinaudosime 81 piešiniu, kuris atvaizduoja tos mašinos schemą kitoje konstrukcijoje, patogesnėje elektrifikacijos procesams suprasti. Vietoj dviejų stiklo arba ebonito diskų mes čia turime du koaksijalius ebonito cilinderius, vieną išorinį, didesnį, antrą išvidinį, mažesnį, su siauru oro protarpiu tarp jų. Reikia pasakyti, kad kai kuriais atvejais Wimshursto mašina iš tikrųjų turi tokią konstrukciją. Abudu cilinderiai sujungti taip suktuvu, kad jie sukasi į priešingas puses, kaip rodo 81 piešinys. Išorinis didžiojo cilinderio paviršius ir išvidinis mažesnio cilinderio apkloti staniolės segmentais, kaip ir ebonito diskai 80 piešinio, taip kad tarp tų segmentų (vadinamų induktorių) randasi siauras oro protarpis ir dar du sluogsniai ebonito. Iškrovikliai parodyti čia metaliniais stiebais II ir XY, kurie susikerta tarpusavy kampu 90o ir baigiasi spurgais, liečiančiais diametraliai priešingus segmentus. Šukos arba kolektoriai atvaizduoti čionai pavidalu dviejų smailgalių išilgai gulsčio diametro. metališkai sujungtų su mašinos konduktoriais, rutuliais, pažymėtais ženklais + ir —. Kolektorių smaigaliai labai arti prieina prie ebonito cilinderio paviršių bet neliečia jų.



81 pieš.

Jeigu mašina švariai ir sausame ore laikoma, tai pradėjus ją sukti, del trynimo varinių arba misinginių spurgų į staniolės segmentus tie segmentai įgyja nedidelį + elektros įlydį ir per trumpą laiką mašina ima duoti smarkių kibirkščių. Jeigu to nėra, tai pakanka priartinti (tik neliečiant) patrintą flanele ebonito lazdą prie išorinio cilinderio segmentų: pradėjus sukti mašiną išorinio ebonito cilinderio segmentuose ebonito lazda indukuoja + elektrą ir mašina greitu laiku ima veikti elektriškai. Iš tikrųjų, sukant mašiną, kaip rodo 81 piešinys, nedidelis + elektros įlydis ant segmento 1 patenka į padėtį, pažymėtą skaitmeniu 2 ties vienu galu iškroviklio II. Šitoje padėtyje tasai + įlydis per indukciją sudaro — įlydį ant segmento išvidinio cilinderio, kuris kaip tik randasi ties segmentu 2 išorinio cilinderio (— elektra taip sakant išteka iš iškroviklio JJ per spurgus, vadinasi per aštrus galus į segmentą išvidinio cilinderio), tuo tarpu ta pati indukcija nuvaro (nustumia) + įlydį ant kito galo iškroviklio I I ir per spurgus į diametringai priešingą išvidinio cilinderio segmentą. Taigi aišku, kad visi išvidinio cilinderio segmentai, kurie prabėgs pro iškroviklio I I viršutinį galą, bus užtaisyti — elektra, lygiai kaip ir visi išvidinio cilinderio segmentai, kurie prabėgs pro apatinį iškroviklio I I galą, bus užtaisyti + elektra per indukciją.

Išvidinio cilinderio segmentai, prabėgę iš dešinės į kairę pusę pro iškroviklio I I viršutinį galą, iš eilės bėga pro iškroviklio XY viršutinį galą. Kada išvidinio cilinderio segmentas su nedideliu — įlydžiu patenka ties iškroviklio XY viršutiniu galu, jis per indukciją užtaiso + elektra atatinkantį segmentą išorinio cilinderio, kurį kaip tik liečia spurgai viršutinio galo iškroviklio XY, o neigiamą to iškroviklio elektrą nuvaro ant galo Y, kur ta elektra ir nuteka nuo spurgų ant išorinio cilinderio segmento, kuris tuo laiko momentu kaip tik randasi ties apatiniu galu Y iškroviklio XY. Taigi abipusė segmentų (induktorių) indukcija, bėgant jiems priešingomis kryptimis ir veikiant iškrovikliams sudaro + elektros sluogsnį ant viršutinės pusės išorinio cilinderio ir — elek-

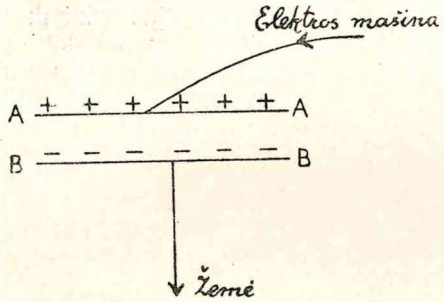
tros sluogsnį ant apatinės pusės išorinio cilinderio, lygiai kaip — elektros sluogsnį ant viršutinės išvidinio cilinderio pusės ir + elektros sluogsnį ant apatinės išvidinio cilinderio pusės. Iš 81 piešinio aišku, kad sukant mašiną, kaip rodo iešmas, tuo pačiu laiku bėga pro smailagalius sujungtus su konduktorium iš dešinės pusės mašinos + elektra išorinio cilinderio ir + elektra išvidinio cilinderio. Taigi ta + elektra indukcijos keliu pritraukia konduktoriaus iš dešinės pusės — elektrą, kuri per smailagalius ir neutralizuoja abiejų cilinderių + elektrą, taip kad ant konduktoriaus iš dešinės pusės pasilieka indukcijos + elektra. Iš antros pusės, kaip rodo piešinys, tuo pačiu laiku pro smailagalius mašinos konduktoriaus iš kairės pusės bėga—elektra išorinio ir išvidinio cilinderių. Ta — elektra per indukciją pritraukia ant smailagalių konduktoriaus + elektrą, kuri per smailagalius ir neutralizuoja cilinderių — elektrą, taip kad ant konduktoriaus iš mašinos kairės pusės pasilieka — elektra, kaip rodo 81 piešinys. Taigi sukant mašiną taupiama + elektra ant dešiniojo mašinos konduktoriaus ir – elektra ant kairiojo mašinos konduktoriaus, kol bus pasiektas tam tikras potencialas ant vieno ir ant antro konduktorių, kuris pareina nuo konduktorių talpumo ir nuo oro švarumo. Dalykas tas, kad sutaupyti ant konduktorių neapribotų elektros kiekių negalima, nes augant elektros kiekiui, didėja elektros tankumas ir, vadinasi, didėja elektros konvekcija dulkių dalelėmis, kurios randasi ore, ir net pačiomis oro molekulomis. Taigi, sukant mašina visuomet bus gaunamas toks statinis (pastovus) padėjimas, kada nuo konduktorių paviršiaus per konvekciją nutekės, sakysime, per 1 sekundą tiek pat elektros, kiek jos bus konduktoriams suteikta aprašytu čia mašinos veikimu. Nuo to momento mes pasieksime maximum potencialą ant konduktorių, kuris sukant mašiną toliau nebesikeis. Kadangi čia visą laiką mes turime + elektrą ant viršutinės pusės išorinio cilinderio ir — elektrą ant viršutinės pusės išvidinio cilinderio ir tuo pačiu laiku — elektrą ant apatinės pusės išorinio cilinderio ir + elektrą ant apatinės pusės išvidinio cilinderio, tai aišku, kad sukdami mašiną mes visą laiką atliekame darbą ne tik surištą su mašinos dalių trynimu, bet ir surištą su traukos jėgomis, veikiančiomis tarp + ir — elektros sluogsnių. Šitas paskutinis darbas yra čia tikras elektros išteklius. Sujungus abudu konduktorius viela nesunku pastebėti, kad mašina sukasi daug lengviau, nes tuomet ji sukama neutralizuotam padėjime. Jeigu konduktoriai nesujungti laidininku, tai sukti mašina yra daug sunkiau del traukos jėgų tarp gretimų + ir — elektros sluogsnių ir, nustojus mašiną sukti, jos cilinderiai ima suktis net priešinga prasme (vadinasi, išorinis cilinderis iš dešinės į kairę pusę, o išvidinis cilinderis iš kairės į dešinę pusę). Pradėjus sukti mašiną tuojau iš vieno arba iš antro jos konduktoriaus galima ištraukti gan smarkių kibirkščių, o prijungus prie tų konduktorių užlenktais stiebais du rutuliukus ir palikus tarp jų oro tarpą, kaip rodo 80 piešinys, visą laiką tą oro tarpą pramuša elektros kibirkštys. Jeigu tas oro tarpas tarp rutuliukų per didelis, tai kibirkštys negali susidaryti ir prasideda smarkus tekėjimas elektros iš iškroviklių spurgų ir visa mašina smarkiai šnypščia ir šviečia patamsy, ypač tose vietose, kur randasi iškroviklių spurgai ir kolektorių smailagaliai. Be to, tokiais atvejais gali atsitikti, kad išorinio cilinderio + elektros sluogsnis susijungs su išvidinio cilinderio – elektros sluogsniu ir atbulai per ebonitą ir orą, ir tas gali sužeisti mašiną.

Pridursime čia dar, kad veikiant mašinai ore jaučiamas charakteringas ozono kvapas, nes elektros išlydymas tylus arba kibirkšties pavidalu ozonizuoja orą.

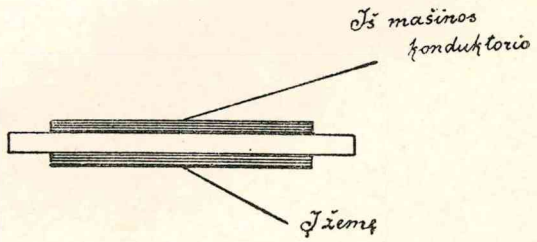
Labai dažnai šiandien gaminamos Wimshursto mašinos ne su viena pora, bet su keleta porų stiklo arba ebonito diskų. Tokios mašinos veikia dar smarkiau ir duoda ilgų galingų kibirkščių.

7 §. Kondensatorius. Leydeno bonka. Kondensatoriaus talpumas. Dielektriko reikšmė. Įlydžio energija. Traukos jėga tarp kondensatoriaus plokštelių ir potencinė 1 cm^3. energija dielektrike. Elektriškasai modulis. Dielektrinė polarizacija. Likučių išlydymas. Faraday'aus - Maxwellio teorija. Elektros lauko stiprumas ir elektrostatinė indukcija. Elektriškasai dielektriko momentas. Elektrifikacijos konstanta ir dielektrinė konstanta. Dielektriko dubletų teorija. Santykis tarp lūžimo koeficiento ir dielektrinės konstantos.

Mes jau žinome, kad kiekvienas konduktorius charakterizuojasi tam tikru nuolatiniu santykiu tarp elektros kiekio ant jo paviršiaus ir elektros potencialo, kuris santykis vadinasi konduktoriaus elektros talpumas. Šitas talpumas galima apskaityti arba išmatuoti. Bet tokius santykius mes turime tik tada, kada konduktorius, sakysime, metalinis rutulys arba metalinis skritulys, randasi pakankamai toli nuo kitų konduktorių. Taigi, tik tokiu atveju, sakysime, rutulio talpumas bus lygus jo stipinui r ir skritulio talpumas bus lygus $\frac{2r}{\pi}$ (skritulio diametrui, padalinus į π). Jeigu arti nuo rutulio arba nuo skritulio randasi kiti laidininkai, tai ant tų kitų laidininkų per indukciją susidaro priešinga elektra, kuri dalinai suriša rutulio arba skritulio elektrą ir tokiu būdu keičia talpumą, nes tuo atveju, kad pasiektume tą patį potencialą, rutuliui reikės suteikti daugiau elektros. 82 piešinys atvaizduoja metalinę plokštelę AA skritulio pavidalu, kuri viela sujungta su+konduktorium elektros mašinos. Nuo mašinos konduktoriaus tekės+elektra į plokštelę AA, kol potencialas plokštelės pasidarys lygus potencialui mašinos konduktoriaus. Jeigu arti nuo plokštelės AA nėra kitų laidininkų, tai ore šituo atveju mes turėsime $C = \frac{2r}{\pi} = \frac{\varepsilon}{V}$. Čia E reiškia elektros kiekį ant plokštelės AA, V jos potencialą (tai yra ir mašinos konduktoriaus potencialas) ir C plokštelės elektros talpumą. Priartinsime dabar kitą tokią pat plokštelę BB prie plokštelės AA palikę ploną oro sluogsnį tarp jų, kaip rodo 82 piešinys. Plokštelės AA + elektra per indukciją pritrauks



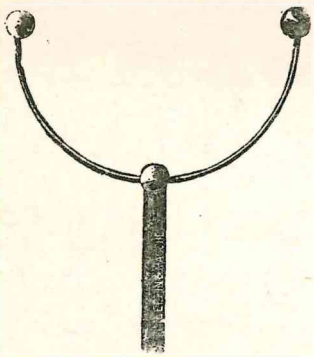
82 pieš.



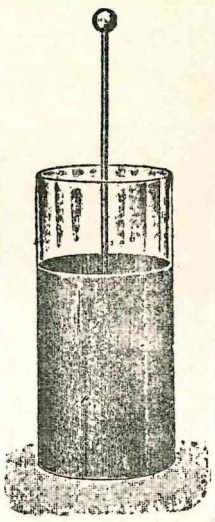
83 pieš.

—elektrą plokštelės BB ir nustums jos + elektrą. Aišku, kad dabar plokštelės AA + elektra dalinai bus surišta ir, vadinasi, jos potencialas bus pažemintas. Taigi iš mašinos konduktoriaus vėl pritekės tam tikras kiekis elektros, kol plokštelės AA potencialas V vėl pasidarys lygus mašinos konduktoriaus potencialui. Jeigu mes apatinę plokštelę BB sujungsime su žeme, kaip rodo 82 piešinys, sakysime, prijungę šitą plokštelę BB viela prie vandenteikio arba dujų vamzdžio, tai plokštelės BB + elektra nutekės į žemę, kitaip sakant, jos potencialas pasidarys lygus nuliui ir plokštelės BB — elektra dar smarkiau suriš plokštelės AA + elektrą, vadinasi, dar smarkiau pažemins plokštelės AA potencialą ir todel iš mašinos konduktoriaus pritekės į plokštelę AA dar daugiau elektros, kol bus pasiektas potencialas V. Taigi, turint tokią kom-

binaciją, kaip rodo 82 piešinys, galima ant plokštelės AA sutaupyti daug daugiau elektros kaip tada, kada ta plokštelė yra tik viena ir toli nuo kitų laidininkų. Taigi, aprašyta čia laidininkų kombinacija vadinama kondensatorium. Plokštelė AA vadinama kolektorium, nes ant jos renkasi elektra, o plokštelė BB vadinama kondensatorium, nes ji, taip sakant, padeda kondensuoti elektrą. Tokios formos kondensatorius, kaip jį rodo 82 piešinys, vadinasi plokštelių kondensatorius. Taigi toksai kondensatorius visuomet susideda iš dviejų metalinių pokštelių su oro protarpiu arba su kito kokio izoliatoriaus (stiklo, ebonito, sieros, lako ir t. t.) protarpiu tarp jų. Prityrimas rodo, kad tais atvejais, kada tarp metalinių plokštelių randasi lakas, ebonitas arba stiklas, galima sutaupyti ant tokio kondensatoriaus keletą sykių daugiau elektros, kaip tuomet, kada tarp tų plokštelių randasi tokio pat storumo oro protarpis. Vadinasi, oro kondensatoriaus talpumas yra mažesnis kaip ebonito arba stiklo kondensatoriaus talpumas. 83 piešinys atvaizduoja tokį plokštelių kondensatorių su stiklo sluogsniu tarp jų. Kad būtų užtaisytas toks kondensatorius, reikia viena jo plokštelė, sakysime, viršutinė, sujungti viela su elektros mašinos konduktorium, o kita plokštelė, apatinė, prijungti prie žemės, kaip rodo 83 piešinys. Atjungę nuo mašinos ir nuo žemės mes turėsime gan didelį + elektros kiekį ant viršutinės plokštelės ir tokį pat — elektros kiekį ant apatinės plokštelės, o tarp jų stiklo sluogsnį (arba kito kokio izolatoriaus sluogsnį). Paimsime iškroviklį, kurį atvaizduoja 84 piešinys ir kuris susideda iš dviejų metalinių lankų, sujungtų šalnieriu ir su rutuliais ant jų galų. Šalnierius randasi ant koto arba rankenos iš izoliuojamos medžiagos. Paėmę už rankenos iškroviklį, paliesime vienu jo rutuliu, sakysime, kuriuo apatinių, kondensatoriaus plokštelę (sujungtą su žeme) ir artinsime kitą iškroviklio rutulį prie viršutinės plokštelės. Nepasiekiant tos viršutinės plokštelės iškroviklio rutuliu, bet pakankamai tą rutulį priartinus, tarp viršutinės plokštelės ir to rutulio prašoks trumpa, bet stora ir labai šviesi kibirkštis ir smarkiai pokštelės. Tokiu būdu + elektra viršutinės plokštelės susijungs su — elektra apatinės plokštelės. Kadangi mes čia turime gan didelius elektros kiekius, tai gausime gan storą ir šviesią kibirkštį. Mes galime sujungti + elektrą apatinės plokštelės ir — elektrą viršutinės plokštelės per savo kūną, palietus viena ranka vieną plokštelę ir artinant antrą ranką prie antros plokštelės. Jeigu plokštelės pakankamai didelės ir tarp jų randasi stiklo sluogsnis, tai mes gausime gan smarkų ir nemalonų smūgį. Šitas smūgis ir buvo priežastimi išradimo labai patogios ir dažnai vartojamos kondensatoriaus formos, būtent Leydeno bonkos XVII šimtmečio pabaigoje Leydeno universiteto (Olanduose) fizikas Cunaeus'as darė bandymus suvarydamas elektrą į vandenį (jis mėgino, taip sakant, ištirpinti elektrą vandeny). Jis naudojosi paprasčiausia elektros trynimo mašina, pavidalu didoko sieros rutulio ant ašies, įdėtos į stakles. Viena jo ranka buvo uždėta ant rutulio ir veikė kaipo trynimo pagalvis, sukdama rutulį. Antroje rankoje jis tūrėjo didoką stiklo bonką su vandeniu, į kurį buvo įleista metalinė viela, kurios antras galas lietė sieros rutulį. Taigi Cunaeus'as manė, kad rutulio — elektra per vielą tekės į vandenį ir kad jam tuo būdu pasiseks surinkti vandeny daug elektros. Kada jo pagalbininkas pakankamai ilgą laiką sukė mašiną, Cunaeus'as, manydamas, kad jau jis vandeny turi pakankamai elektros, atjungė stiklo bonką su vandeniu nuo rutulio paviršiaus, paėmęs vielą ta ranka, kuri buvo ant rutulio paviršiaus. Tuo pačiu momentu jis gavo labai smarkų smūgį, kuris jį smarkiai sutrenkė ir išgąsdino. Atsigavęs ir ėmęs galvoti, jis suprato, kas atsitikę, ir išrado tą kondensatoriaus formą, kuri šiandien vadinama Leydeno bonka ir kurios išorinę formą rodo 85 piešinys. Tai yra stiklo bonka, apklota (apklijuota) išorėj ir iš vidaus ligi



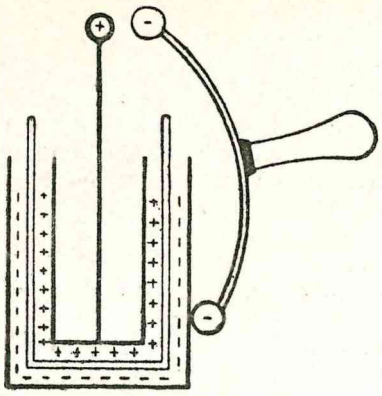
84 pieš.



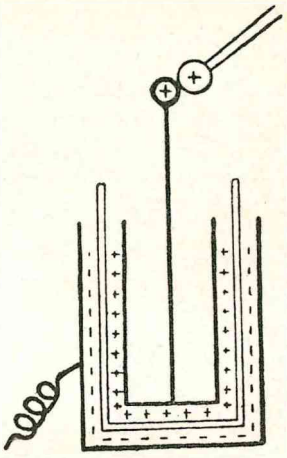
85 pieš.

$^2/_3$ jos augščio staniole (alavo popierium). Į tą stiklo bonką įdėtas metalinis stiebas su rutuliuku ant to stiebo viršutinio galo ir su trišake iš tamprių metalinių plokštelių ant apatinio galo, taip kad įleidžiant tą metalinį stiebą į bonką, metalinės plokštelės sudarytų gerą kontaktą tarp metalinio stiebo ir bonkos išvidinio pamušalo. Vadinasi, čia mes turime du metaliniu sluogsnius cilinderio formos ir tarp jų, sulyginti, ploną stiklo sluogsnį (stiklo sluogsnis turi būti ne per plonas, kad eksperimentuojant su Leydeno bonka stiklas nebūtų pramuštas). Aplamai stiklo sluogsnio storumas turi būti nedidelis sulyginti su bonkos stipinu. Taigi aišku, kad mes čia turime kondensatorių, tik kitos formos kaip pirmiau aprašytas plokštelių kondensatorius.

Kad suprastume, kaip veikia Leydeno bonka, pasinaudosime 86 ir 87 piešiniais. Kai užtaisoma Leydeno bonka, jos išorinis pamušalas sujungiama su žeme, o išvidinis pamušalas per metalinį stiebą su rutuliuku sujungiama su elektros mašinos + konduktorium (žiūr. 86 piešinį). Galima, užuot jungus išorinį bonkos pamušalą prie žemės, paimti jis į ranką ir bonkos rutulys pridėti prie elektros mašinos+konduktoriaus. Tada Leydeno bonka bus prijungta prie žemės per žmogaus kūną. Teigiama elektra iš mašinos konduktoriaus tekės per metalinį bonkos stiebą ir susitaupys ant išvidinio bonkos metalinio paviršiaus iš pusės stiklo sluogsnio, kaip rodo 86 piešinys. Šita + elektra per indukciją pritrauks išorinio bonkos pamušalo — elektrą, o to pamušalo + elektrą nuvarys į žemę. — elektra ant išorinio pamušalo susitaupys irgi iš pusės stiklo sluogsnio, kaip rodo 86 piešinys. + elektra iš mašinos konduktoriaus tekės į Leydeno bonką tol, kol Leydeno bonkos potencialas pasidarys lygus mašinos konduktoriaus potencialui. Pridursime čia dar, kad nėra reikalo užtaisant Leydeno bonką liesti jos rutuliu mašinos konduktoriaus. Pakanka Leydeno bonkos rutulys laikyti arti nuo mašinos + konduktoriaus. Tada bonka bus užtaisyta indukcija. + elektra mašinos konduktoriaus pritrauks — elektrą išvidinio bonkos pamušalo ant rutuliuko ir sutaupys jos daugiausia iš tos pusės rutuliuko, kuri atkreipta į mašinos konduktorių. Tokiomis sąlygomis įtempimas tarp mašinos konduktoriaus ir bonkos rutuliuko pasidarys toksai didelis, jog rutuliuko — elektra jungsis su mašinos konduktoriaus+elektra, ir mes turėsime tarp mašinos konduktoriaus ir bonkos rutuliuko eilę kibirkščių. Tomis kibirkštimis visą laiką—elektra bonkos išvidinio pamušalo bus neutralizuojama + elektra mašinos konduktoriaus, taip kad ant bonkos išvidinio pamušalo taupysis + elektra.



86 pieš.

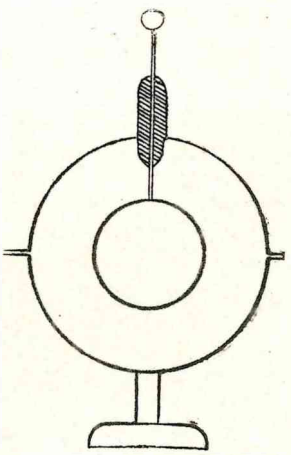


87 pieš.

Užtaisyta elektriškai Leydeno bonka atrodo taip, kaip ją atvaizduoja 87 piešinys. Mes čia turime + elektrą ant išvidinio bonkos pamušalo ir — elektrą ant išorinio bonkos pamušalo, abudu elektros sluogsniai iš pusės stiklo. Per stiklą abidvi elektros rūšys negali susijungti (bet jeigu mašinos potencialas labai augštas, o bonkos stiklo sluogsnis plonas, tai gali atsitikti, kad abidvi elektros rūšys susijungs per stiklo sluogsnį ir kai kuriais atvejais net pramuš stiklo sluogsnį). Galima sujungti + elektra išvidinio bonkos pamušalo su — elektra išorinio pamušalo, palietus viena ranka bonkos išorinį pamušalą, o antra ranka artinant prie bonkos rutuliuko, kuris yra kontakte su bonkos išvidiniu pamušalu. Tada abidvi elektros susijungs arba neutralizuosis per mūsų kūną, ir mes gausime smarkų ir nemalonų smūgį. Dažnai tai yra gan pavojingas dalykas. Dabar mes suprasime, kodel Cunaeus'as gavo smūgį tūrėdamas stiklo bonką

su vandeniu vienoje rankoje ir palietęs antra ranka vielą, kurį buvo įleista į vandenį. Žmogaus kūnas yra pusėtinas elektros laidininkas, taip pat ir paprastas vanduo yra pusėtinas elektros laidininkas. Taigi Cunaeus'o ranka buvo vienas kondensatoriaus pamušalas, o vandens paviršius bonkoje (tas visas vandens paviršius, kuriuo vanduo lietė stiklą) buvo antras kondesatoriaus pamušalas. Ant vieno paviršiaus buvo—elektra nuo Cunaeus'as mašinos sieros rutulio, o ant antro pamušalo (rankos) buvo+elektra, sudaryta indukcija. Taigi, Cunaeus'as, palietęs antra ranka vielą, davė progos+ ir — elektrai susijungti per savo kūną ir gavo smūgį. Todel laboratorijos praktikoje visuomet užtaisytos Leydeno bonkos iškraunamos arba išlydinamos su pagalba iškroviklio (žiūr. 84 pieš.), kaip rodo 87 piešinys. Palietęs vienu iškroviklio rutuliu išorinį Leydeno bonkos pamušalą mes antrą to iškroviklio rutulį artiname prie bonkos rutulio, ir kada tarpas tarp tų dviejų rutulių pasidarys pakankamai mažas, tai įtempimas tarp tų dviejų rutulių pasidarys taip didelis, jog tarp jų prašoks labai skaidri ir storoka, bet neilga kibirkštis. Vienu žodžiu, elektriškasai įtempimas pasidarys toks didelis, kad izoliuojamas oro sluogsnis tarp dviejų rutuliukų bus pramuštas. Taigi Leydeno bonkos kibirkštys trumpos, bet storokos ir skaidrios ir smarkiai sprogsta, nelyginant kaip šaunant iš pistoleto. Patariama išlydant Leydeno bonką su pagalba iškroviklio visuomet iš pradžios paliesti vienu iškroviklio rutuliuku bonkos išorinis pamušalas ir artinti kitas rutuliukas prie bonkos rutuliuko. Dalykas tas, kad veikiant priešingai, tai yra palietus bonkos rutuliuką iškroviklio rutuliuku ir artinant iškroviklio rutuliuką prie išorinio bonkos pamušalo, gali atsitikti, kad elektros išlydymas eis per mūsų kūną, jeigu iškroviklio rankena blogai izoliuoja, sakysime, drėgna.

80 piešinys atvaizduoja Wimshursto elektroforinę mašiną su dviem Leydeno bonkom, kurių išoriniai pamušalai sujungti metaline viela tarp savęs, o išvidiniai pamušalai prijungti prie mašinos kolektorių (šukų), Tokiu būdu atatinkamai padidinamas mašinos abiejų konduktorių talpumas ir prie to paties potencialo ant mašinos konduktorių susitaupo daug daugiau elektros. Todel veikiant mašinai su prijungtomis prie jos kolektorių Leydeno bonkomis, tarp mašinos rutuliukų, sujungtų su jos konduktoriais, mes gauname eilę smarkių skaidrių ir gan ilgų kibirkščių, kurios vienok seka viena kitą tam tikrais protarpiais, o atjungę bonkas nuo mašinos kolektorių, mes gauname visą eilę tankiai sekančių viena kitą kibirkščių, bet tos kibirkštys silpnai šviečia, silpnai sprogsta ir, sulyginti, neilgos. Kad, dirbant su prijungtomis bonkomis, galima būtų ištraukti ilgos kibirkštys, reikia iš pradžios — rutuliukas mašinos priartinti neliečiant prie jos+rutuliuko. Pradėjus mašinai veikti iš pradžios pasirodo skaidrios trumpos kibirkštys. Po truputį tolinant—rutuliuką mašinos nuo + rutuliuko, tos kibirkštys darosi vis ilgesnės, neišeidamos vienok iš tam tikrų ribų, kurios priklauso nuo mašinos konstrukcijos. 80 piešiny parodyti padargai, kuriais, reikalui esant, galima prijungti bonkos prie mašinos kolektorių arba atjungti jos nuo tų kolektorių.



88 pieš.

Pažiūrėsime dabar, nuo kokių dydžių pareina kondensatoriaus talpumas. Paimsime vadinamą rutulio kondensatorių, kurį vartojo Faraday'us ir kurį atvaizduoja 88 piešinys. Čia mes turime du tuščius metalinius rutulius, vieną didesnį, antrą mažesnį, sudėtus vienas antrame taip, kad abiejų rutulių centras randasi tam pačiam taške. Iš viršaus išorinis didesnis rutulys turi skylę, pro kurią eina izoliuotas gintaro sluogsniu metalinis stiebas. Tasai stiebas savo apatiniu galu liečia išvidinį mažesnį rutulį, o ant viršutinio galo turi rutuliuką. Tasai stiebas reikalingas tam, kad per jį galima būtų užtaisyti elektra vidurinį rutulį. Tarpas tarp abiejų rutulių užimtas oru arba kitu kokiu izoliatorium. Išorinis rutulys padėtas ant metalinio štatyvo, taip kad per tą štatyvą jis visuomet yra sujungtas su žeme. Tegu vidurinio rutulio stipinas bus a, o išorinio rutulio b. Suteiksime per kondensatoriaus rutuliuką ir stiebą tam tikrą + elektros kiekį viduriniam

rutuliukui, sakysime e vienetų. Šitas elektros kiekis vienodai pasidalys ant išorinio mažojo rutuliuko paviršiaus ir per indukciją sudarys kiekį elektros — e, kuris irgi vienodai bus padalytas ant išvidinio didžiojo rutulio paviršiaus. Kaip jau mes žinome, potencialas ant išorinio mažojo rutulio paviršiaus bus $+\frac{e}{a}$, o potencialas ant išvidinio didžiojo rutulio paviršiaus bus $-\frac{e}{b}$, vadinasi, sistemos potencialas bus $V = \frac{e}{a} - \frac{e}{b}$. Kada išorinis rutulys sujungtas su žeme, tada jo potencialas bus lygus nuliui. Tokiomis sąlygomis potencialas vidurinio rutulio bus $V = \frac{e}{a} - \frac{e}{b}$. Vadinasi, tokiomis sąlygomis vidurinio rutulio talpumas bus lygus $C=e : e\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right) = e : e.\frac{b-a}{ab} = \frac{ab}{b-a}$, o potencialas tokio pat rutulio, izoliuoto ir toli nuo kitų laidininkų, yra a (yra lygus rutulio stipinui). Dabar aišku, kiek toki sistema padidina elektros talpumą.

Jeigu išorinis rutulys turi labai didelį stipiną b sulyginti su vidurinio rutulio stipinu a, tai mes tada ir turime šitą mažesnį rutulį izoliuotą ir toli nuo kitų laidininkų. Tada $C = \frac{ab}{b-a} = a$, nes a vardiklyje galima atmesti kaipo labai mažą dydį sulyginti su b. Taigi, aplamai, kiekvienas užtaisytas elektra laidininkas yra kondensatorius, nes apylinkoje visuomet yra kiti laidininkai, sujungti su žeme, kurie vaidina didžiojo išorinio rutulio arba antrojo kondensatoriaus pamušalo rolę.

Kaip tik naudodamasis aprašytu čia kondensatorium ir užpildydamas tarpą tarp abiejų rutulių šelaku Faraday'us parodė, kad tokio kondensatoriaus talpumas yra keletą sykių didesnis kaip $\frac{ab}{b-a}$. Vadinasi, kondensatoriaus talpumas pareina dar nuo izolatoriaus arba dielektriko, kuris užpildo tarpą tarp abiejų kondensatoriaus metalinių paviršių. Tuo pačiu Faraday'us įrodė, kad izolatorius arba dielektrikas turi dideles reikšmės elektros reiškiniuose.

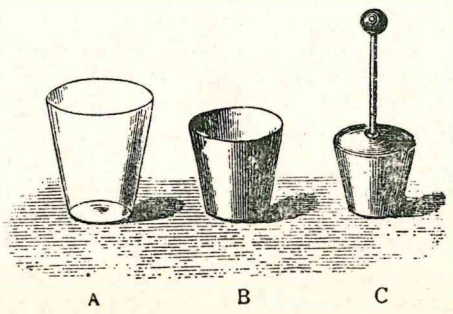
Paimsime dabar plokštelių kondensatorių. Tegu tai bus du dideli metaliniai skrituliai atokume d vienas nuo antro ir tegu tasai atokumas d bus nedidelis sulyginant su skritulių diametru. Tegu tarp tų skritulių randasi oras, taip kad jie sudaro oro kondensatorių. Sujungsime vieną skritulį su žeme, o antram suteiksime tokį elektros kiekį, kad elektros tankumas ant jo paviršiaus būtų lygus e. Tad elektros intensingumas labai arti nuo to paviršiaus, kaip jau mes žinome, bus lygus $4\pi e$ ir statmenai tam paviršiui. Taigi, kad nuvarytume + elektros vienetą nuo paviršiaus disko, sujungto su žeme, į antrojo disko paviršių reikės mums atlikti darbas $4\pi e d$, nes atokumas tarp abiejų diskų yra lygus d. Tasai darbas yra lygus kondensatoriaus potencialui. Jeigu skritulio paviršius yra lygus S, tad elektros kiekis ant skritulio paviršiaus yra Se ir, vadinasi, skritulio talpumas tokiomis sąlygomis yra lygus $C = \frac{Se}{4\pi e d} = \frac{S}{4\pi d}$. Vadinasi, plokštelių oro kondensatoriaus talpumas yra proporcingas vienos plokštelės paviršiui ir atvirkščiai proporcingas atokumui tarp abiejų plokštelių. Todel mes galime gauti labai didelį talpumą, paėmę dvi didelio ploto plokšteles ir padėję jas labai arti viena nuo antros. Reikia vienok pasakyti, kad duota čia formula kondensatoriaus talpumui yra tikra tik tada, kada plokštelės yra pakankamai didelės sulyginti su atokumu tarp jų. Praktikoje mes dažniausiai turime tokias sąlygas. Taigi šita formula galima taikinti įvairių formų kondensatoriams, jeigu tik tų kondensatorių plokštelių kreivumas yra mažas ir atokumas tarp tų plokštelių irgi mažas. Vadinasi, šitą

formulą talpumui galime taikinti ir didelėms Leydeno bonkoms, nes stiklo storumas tarp abiejų bonkos pamušalų tokiu atveju bus mažas dydis sulyginti su bonkos cilindrinių pamušalų stipinais.

Nesigilindami į matematines išvadas, duosime čia dar keletą formulų įvairios formos kondensatorių talpumams, su kuriais teks susidurti praktikoje Kada kondensatorius turi formą dviejų cilinderių, įdėtų vienas į antrą ir taip, jog tų cilinderių stipinai a (vidurinio cilinderio) ir b (išorinio cilinderio) yra maži dydžiai sulyginti su cilinderio ilgiu 1, tai tokio cilinderio kondensatoriaus talpumas $C = \frac{l}{2 \ln \frac{b}{a}}$. Čia l reiškia cilinderių ašies ilgį. Kiekvienas kabelis yra tokios rūšies kondensatorius.

Jeigu du metaliniai cilinderiai to paties stipino a randasi atokume d vienas nuo antro, kuris atokumas yra didelis sulyginti su stipinu a, tai mes irgi turime kondensatorių, kurio talpumas $C = \frac{l}{4 \ln \frac{d}{a}}$. Tokį atsitikimą sudaro, sakysime, dvi telegrafo vielos, ištiestos tarp dviejų stulpų. Pagaliau, trečias atsitikimas bus tada, kada plonas cilinderis ištiestas, sakysime, atokume h nuo metalinio paviršiaus arba nuo žemės paviršiaus, sakysime, nuo stalo, kuris stovi ant žemės. Jeigu tokio plono cilinderio stipinas yra lygus a, tai tokio kondensatoriaus talpumas bus $C = \frac{l}{2 \ln \frac{2h}{a}}$. Tokį atsitikimą sudaro kiekviena viela, ištempta laboratorijoj viršuj stalo, ir aišku, kad tokio kondensatoriaus talpumas gali būti gan didelis, jeigu viela arti nuo stalo ir jos diametras nemažas.

Kalbėdami apie kondensatorius mes ligi šiol manėme, kad įlydžiai susitaupo ant kondensatoriaus metalinių plokštelių arba pamušalų paviršių. Bet iš tikrųjų dalykai čia atrodo kitaip. 89 piešinys rodo sudedamąją Leydeno bonką arba vadinamąją Franklino bonką. Čia C reiškia tuščias metalinis nukirstas iš abiejų galų kūgis, kuris galima įdėti į stiklo bonką A atatinkamos formos. Šita bonka galima įdėti į metalinę žemesnę bonką B, irgi nukirsto iš abiejų galų kūgio formos. Sudėję tokiu būdu, mes turėsime paprastą Leydeno bonką ir galėsime ją užtaisyti žinomu jau mums būdu. Pastatysime užtaisytą bonką ant izoliuoto stalo ir izoliuotomis replėmis išimsime iš bonkos dalį C ir išimsime stiklo indą A iš metalinio indo B, vienu žodžiu, išdėstysime bonką. Su pagalba elektroskopo nesunku bus įsitikinti, kad dalys B ir C arba visiškai neturi elektros arba kad tos elektros ant tų dalių, sulyginti, nedaug. Palietę tas dalis B ir C ranka, mes jas išlydysime. Sudėsime dabar vėl iš naujo Leydeno bonką. Pasirodo, kad išlydant su pagalba iškroviklio mes gausime kibirkštį. Tas rodo, kad elektros įlydžiai susitaupo ant stiklo indo A paviršiaus.



89 pieš.

Tą patį faktą galima įrodyti su pagalba Franklino lėkštės (arba lentos). Tai yra ypatinga kondensatoriaus forma, kurią atvaizduoja 90 piešinys. Čia mes turime ploną stiklo plokštelę, apklijuotą iš vienos ir iš antros pusės staniolės lapais, bet taip, kad tie staniolės lapai neprieitų ligi stiklo plokštelės krantų. Iš vienos ir iš antros plokštelės pusės prikabinti ant plonų siūlų du putino rutuliukai. Kada šita Franklino lėkštė neužtaisyta elektriškai, tai rutuliukai kaba vertikaliai ir liečia staniolę. O jeigu Franklino lėkštė užtaisyta elektriškai ir viena jos pusė sujungta su žeme, tai iš tos pusės, kuri sujungta su žeme, rutuliukas kaba vertikaliai ir liečia staniolės lapą (vadinasi kondensatoriaus rutuliukas). Iš pusės kolektoriaus rutuliukas bus atsilenkęs tam tikru kampu, kaip

rodo 90 piešinys. Paliesime dabar pirštu kolektorių. Jo rutuliukas prisiglaus prie staniolės, užtat atsilenks kondensatoriaus rutuliukas. Paliesime pirštu kondensatorių. Jo rutuliukas prisiglaus, o atsilenks kolektoriaus rutuliukas. Palietę pirštu koletorių, turėsime vėl tą patį kaip iš pradžios ir t.t.

90 pieš.

Tokiu būdu liečiant pirštu tai kolektorių, tai Franklino lėkštės kondensatorių, ją galima pagaliau visiškai išlydyti. Bet iš šitų bandymų aišku, kad kiekvieną sykį laisva elektra, dėka kurios atsilenkia rutuliukas, ar tai iš pusės kolektoriaus, ar tai iš pusės kondensatoriaus, atsiranda iš stiklo arba, aplamai, iš to izolatoriaus, kuris randasi tarp staniolės lapų.

Aprašyta čia Franklino lėkštė rodo, kad šiaip ar taip izolatorius arba dielektrikas vaidina svarbų vaidmenį elektrifikuojant kondensatorių. Be to, toji lėkštė rodo, kad nėra reikalo daryti kondensatorių išdėstomų, sakysime, daryti Leydeno bonka išdėstoma. Paimsime Leydeno bonką, padirbtą taip, kaip rodo 85 piešinys, ir paprastu būdu užtaisysime ją elektra. Išlydysime ją su pagalba iškroviklio. Palaukus trumpą laiką galima ji išlydyti antrą sykį, paskui trečią sykį ir t. t., kol bonka visiškai bus išlydyta. Vadinasi, išlydžius bonką vieną sykį, per kurį laiką ant jos pamušalų vėl atsiranda elektros įlydžių. Aišku, kad tie įlydžiai bus bonkos stikle arba, aplamai, bus dielektrike. Jie, tarytum, difunduoja iš stiklo į pamušalus. Aprašytas čia kartotinas Leydeno bonkos išlydymas vadinamas likučių išlydymu, taip sakant, elektros likučių, kurie pasilieka bonkos stikle. Su pagalba išdėstomos Leydeno bonkos nesunku įrodyti, kad jeigu išlydant bonką pirmą sykį + elektra buvo ant išorinio pamušalo, o — elektra ant išvidinio pamušalo, tai išlydant antrą, trečią ir t. t. sykį + elektra bus irgi ant išorinio pamušalo, o — elektra ant išvidinio, vadinasi, visi kartotini išlydžiai vyks ta pačia prasme. Kaip pamatysime vėliau, tai yra išdava heterogeninės izolatoriaus struktūros.

Franklino lėkštė yra prototipas kondensatorių, vartojamų labaratorijoje matavimams. Kaip jau anksčiau pasakyta, krantai stiklo plokštelės, užlipdant ant jos staniolės lapus, turi pasilikti laisvi, nes jeigu užlipdytume staniole visą stiklo plokštelės plotą, tai labai lengvai galės peršokti kibirkštis tarp abiejų staniolės lapų. Kad būtų sustiprinta izolacija tokiam kondensatoriui, reikia ne tiktai palikti laisvi stiklo plokštelės krantai, bet dar aptraukti jie politūros sluogsniu (laku). Taip yra gaminami laboratorijų kondensatoriai, imant plonas stiklo, žėručio arba net parafinuoto popieriaus lapus ir užlipdant ant tų lapų iš abiejų pusių staniolės lapus. Bet ir tokiomis sąlygomis kenksmingas oro veikimas nebus pašalintas. Oro dulkės silpnins izolaciją ir ves prie elektros išsisklaidymo. Taigi šituo, geros izolacijos, atžvilgiu Leydeno bonka yra tobulesnė kondensatoriaus forma. Čionai santykis tarp laisvo izolatoriaus paviršiaus ir apkloto staniole paviršiaus yra geresnis. Be to, Leydeno bonka galima užvožti viršeliu, pripildžius ją iš vidaus sausu oru. Tokiu būdu bus sudarytos geriausios izolacijos sąlygos, nekalbant jau apie tai, kad manipuliuoti su Leydeno bonka yra patogiau kaip su plokštelių kondensatoriais.

Aprašyti čia kartotino išlydžio eksperimentai konstatuoja ypatingą izolatoriaus reikšmę, sudarant elektrišką būklę, apie ką jau mes kalbėjome 4 §, ta prasme, kad izolatorius tarpininkauja elektros visokiems veikimams. Todel izolatorius yra vadinamas dielektriku. Faraday'us tiesioginiais eksperimentais parodė, kad kondensatoriaus talpumas pareina nuo dielektriko. Jis darė bandymų su savo rutuliniais kondensatoriais (žiūr. 88 pieš.). Paėmęs du tokius kondensatorius vienodo didumo jis užpildė tarpą tarp abiejų rutulių vieno iš tokių kondensatorių iš eilės šelaku, stiklu, siera ir įvairiais skystimais, ir užtaisęs oro kondensatorių elektra (tą kondensatorių, kur tarpas tarp rutulių buvo užpildytas oru), sujungė viela abiejų kondensatorių rutuliukus (žiūr. 88 pieš.). Tokiomis sąlygomis kondensatorių potencialai išsilygina, ir elektros įlydis, suteiktas oro kondensatoriui, pasidalija tarp abiejų kondensatorių tam tikram santyky, bet nevienodai (tasai įlydis pasidalyja perpus tik tada, kada abudu vienodo didumo kondensatoriai yra oro

kondensatoriai). Remdamasis šitais eksperimentais Faraday'us konstatavo, kad kondensatoriaus talpumas būna dusyk didesnis, kada dielektriku tarp kondensatoriaus plokštelių arba pamušalų būna parafinas vietoj oro, tasai talpumas būna tris sykius didesnis, kada dieleketriku būna šelakas, ir šešis sykius didesnis, kada dielektriku būna stiklas. Kitaip sakant, kondensatoriui su parafinu reikia suteikti dusyk didesnis elektros įlydis, kaip kondensatoriui su oru, kad būtų gautas tas pats potencialas; o kondensatoriui su stiklu reikia suteikti 6 sykius didesnis įlydis. Taigi išeina, kad to paties didumo ir formos kondensatorių talpumai santykiuoja kaip elektros kiekiai, kurie reikia suteikti kondensatoriams, kad būtų gautas tas pats potencialas. Pažymėsime oro kondensatoriaus talpumą raide C_1 ir šelako kondensatoriaus talpumą (tos pačios formos ir tokio pat didumo kaip oro kondensatorius) raide C_2. Tegu pirmajam kondensatoriui reikia suteikti elektros įlydis e_1, o antrajam e_2, kad gautume tą patį potencialą V. Tad $\frac{C_2}{C_1} = \frac{e_2}{e_1}$.

Sitas santykis vadinasi kondensatoriaus lyginamasai (specifinis) indukcijos talpumas arba dielektrinė konstanta. Pažymėsime jį raide K. Tai yra relatyvus skaičius, Faraday'aus ir vėlesnių tyrinėtojų nustatytas įvairiai medžiagai. Žemiau mes duodame šitą skaičių kai kurioms medžiagoms:

	K
Parafinas, anglies bisulfidas, rezina	2 — 2,2
Vulkanizuota rezina, ebonitas	apie 2,5
Šelakas	apie 3
Gutaperča	apie 4
Žėrutis, ricinos alyva	apie 5
Stiklas	nuo 6 ligi 8
Vanduo (distiliuotas, tyras) . .	80

Visais šitais atvejais dielektrinė konstanta oro laikoma vienetu. Bet iš tikrųjų dielektrinė konstanta oro yra lygi 1,0006, sulyginant su tuštumos dielektrine konstanta, nes elektros indukcija, ir aplamai, visi elektros veikimai reiškiasi ir tuštumoje. Kadangi mes tuštumos nežinome, o tikime, visą pasaulį pripildytą tolydinio eterio, tai tiksliau būtų nustatyti įvairių dielektrikų indukcijos talpumas arba dielektrinė konstanta eterio atžvilgiu, palaikius eterio dielektrinę konstantą vienetu. Bet, kadangi oro dielektrinė konstanta tuštumos arba eterio atžvilgiu maža skiriasi nuo vieneto, tai dažniausiai, kalbėdami apie įvairių medžiagų dielektrines konstantas, mes turėsime galvoj tuos dydžius atžvilgiu oro dielektrinės konstantos, laikomos vienetu.

Apie eterio dielektrinės konstantos absoliutinę vertę mes šiandien galime tik spėlioti. Jeigu pasisektų ta dielektrinė eterio konstanta nustatyti eksperimentu, tai tada mes turėtumėm absoliutinės vertės šitos konstantos ir kitoms medžiagoms.

Taigi išeina, kad tarp kita ko kondensatoriaus talpumas yra proporcingas dielektrinei konstantai K. Vadinasi, jeigu mes turime rutulinį kondensatorių ne su oru tarp rutulių, o su kitu dielektriku, tai tokio kondensatoriaus talpumas bus $K\frac{ab}{b-a}$. Taip pat plokštelių kondensatoriaus talpumas ne su oru tarp plokštelių, bet su kitu dielektriku bus $K\frac{s}{4\pi d}$.

Iš to, kas čia pasakyta, aišku, kad išmatavę, sakysime, elektrometru elektros įlydžius, kurie reikalingi suteikti oro kondensatoriui ir tokios pat formos ir tokio pat didumo kondensatoriui su bet kuriuo dielektriku, kad, užtaisę juos ligi to paties potencialo, ir paėmę santykį antrojo ir pirmojo įlydžių, mes surasime paimto dielektriko dielektrinę konstantą (relatyviai). Savaime aišku, kad šitas dydis yra nulinės dimensijos.

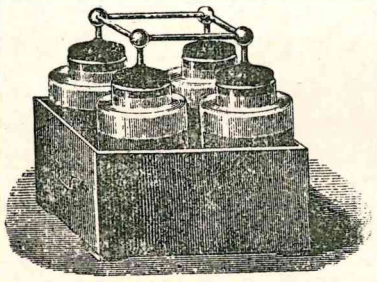
Turint du tos pačios formos ir tokio pat didumo kondensatoriu, oro ir su dielektriku dielektrinės konstantos K, antruoju atveju reikia kolektoriui suteikti K sykių daugiau elektros kaip pirmuoju atveju, kad gautume tą patį potencialų skirtumą tarp kondensatoriaus plokštelių arba pamušalų pirmuoju ir antruoju atveju. Bet potencialų

skirtumas yra lygus elektros jėgai padauginus į atokumą tarp plokštelių. Atokumas tarp plokštelių abejais atvejais yra tas pats ir potencialų skirtumas yra tas pats. Tai rodo, kad ir elektros jėga abejais atvejais yra ta pati. Bet antruoju atveju suteikta kondensatoriaus kolektoriui K sykių daugiau elektros kaip pirmuoju atveju. Vadinasi, kad antruoju atveju tarp kondensatoriaus plokštelių mes turime K sykių daugiau jėgų linijų arba jėgų vamzdelių kaip pirmuoju atveju. Taigi pirmuoju atveju elektros vienetas lygsta 4π jėgų linija, o antruoju atveju $4\pi K$ jėgų linijų. Todel dielektrike dielektrinės konstantos K kiekviena jėgų linija sudaro $\frac{1}{K}$ to elektros lauko stiprumo, kurį tokia linija reiškia ore. Situo atžvilgiu dielektrinė konstata K yra dydis, panašus į magnetinį pralaidumą μ, nes ir magnetinėje medžiagoje pralaidumo μ kiekviena magnetinė linija sudaro $\frac{1}{\mu}$ to lauko stiprumo, kurį tokia magnetinė linija reiškia ore.

Iš to išeina, kad jėga, veikianti tarp dviejų įlydžio vienetų atokume 1 cm. vienas nuo antro dielektrike, yra lygi $\frac{1}{K}$ dinų, ir, vadinasi, elektrostatinio lauko stiprumas arba intensingumas tokiam dielektrike yra lygus $\frac{N}{K}$. Čia N reiškia jėgų linijų skaičių, kuris pereina normaliai per 1 cm.^{2} elektrostatinio lauko skerspjūvio ir K reiškia dielektriko dielektrinę konstantą. Taigi Coulombo dėsnis, taikant jį dielektrikui dielektrinės konstantos K, išreiškiamas tokia formula: $f = \pm \frac{1}{K} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$.

Čia q_1 ir q_2 reiškia du elektros įlydžius, o r reiškia atokumą tarp tų įlydžių centrų arba tarp tų taškų, kuriuose tie įlydžiai sukoncentruoti.

Vartodami kondensatorius su ebonitu, stiklu ir t. t. mes turime ne tik tą patogumą, kad tokiu būdu mes žymiai padidiname kondensatoriaus elektros talpumą: toksai kondensatorius gali išlaikyti žymiai didesnį potencialų skirtumą neišsilydant kibirkščia kaip oro kondensatorius. Taip oro tarpas 3 m/m. platumo (arba ilgio) gali išlaikyti 40 vienetų potencialų skirtumo, tuo tarpu kaip tokio pat storumo stiklo sluogsnis gali išlaikyti 500 vienetų potencialų skirtumo. Jeigu šita riba bus peržengta, tai elektros įlydžiai jungiasi per stiklą ir stiklas atrodo taip, kad, tarytum, jį kas būtų išbadęs aštria adata. Pagaliau, vartodami stiklą kaipo dielektriką, mes turime ir tą mechaninį patogumą, kad elektros traukos jėga, veikianti tarp abiejų kondensatoriaus plokštelių, negali tų plokštelių sutraukti ligi kontakto, kaip tai gali atsitikti esant oro sluogsniui tarp plokštelių.

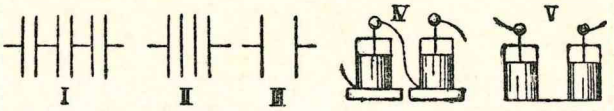


91 pieš.

Turint eilę kondensatorių galima jie sujungti arba kombinuoti įvairiais būdais ir turėti įvairių talpumų. 91 piešinys atvaizduoja keturias Leydeno bonkas, sujungtas paralėliai, arba lygiagrečiai. Čia keturios bonkos padėtos ant plonos skardies lapo, kuriuo išklotas nedidelės dėžės dugnas. Tokiu būdu sujungti tarp savęs keturių bonkų išoriniai pamušalai. Taip pat metaliniais stiebais sujungti rutuliai keturių bonkų ir, kadangi tie rutuliai randasi kontakte su išvidiniais pamušalais bonkų, tai tokiu būdu sujungiami tarp savęs visų bonkų išvidiniai pamušalai. Tokia kombinacija vadinasi Leydeno bonkų batarėja ir aišku, kad tokios kombinacijos elektros talpumas yra lygus talpumui 1 bonkos padauginus į bonkų skaičių (yra lygus n. C, jeigu C yra vienos bonkos talpumas ir n bonkų skaičius), todel, kad kombinuodami bonkas tokiu būdu mes atatinkamai didiname kondensatoriaus plotą, palikdami be atmainos dielektriko storumą. Savaime suprantama, kad toki batarėja gali būti užtaisyta tik ligi potencialo, kurį gali išlaikyti dielektriko sluogsnis

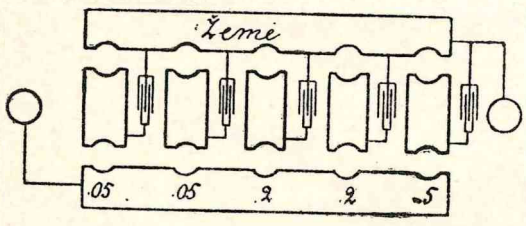
Paprastai laboratorijos reikalams, kabelio telegrafams, indukcijos špulėms vartojami kondensatoriai, gaminami iš staniolės lapų ir plonų žėručio lapų, kurie sudedami ir suspaudžiami taip: staniolė, žėrutis, staniolė, žėrutis ir t. t. staniolė. Sujungimas daromas taip, kad 1, 3, 5, ir t. t. staniolės lapai būtų išsikišę iš vienos pusės kondensatoriaus, o 2, 4, 6, ir t. t. lapai būtų išsikišę iš kitos pusės. Tų lapų galai iš vienos ir iš antros pusės kondensatoriaus sujungiami tarp savęs (arba suliejami) taip, kad gaunama didelio talpumo kondensatorius, susidedąs iš didelio skaičiaus sujungtų lygiagrečiai nedidelių kondensatorių. Tokio kondensatoriaus patogumas yra dar tas, kad jis užima maža vietos. Bet potencialų skirtumas, kurį toks kondensatorius gali išlaikyti, sulyginti yra nedidelis del plonumo žėručio sluogsnių. Dar pigesnį kondensatorių galima pagaminti paėmus vietoj žėručio parafinuotą popierių ir sudėjus ir suspaudus, kaip jau pasakyta, iš eilės staniolės, popieriaus, staniolės ir t. t. lapelius. Aišku, kad tokie kondensatoriai yra panašūs į eilę Franklino lėkščių, sujungtų lygiagrečiai.

Kitą kondensatorių sujungimo būdą, būtent, sujungimą serijomis arba kaskadomis, atvaizduoja 92 piešinys. Kaip rodo figūra I, čia kairioji plokštelė pirmojo kondensatoriaus prijungiama prie elektros mašinos konduktoriaus. Jo dešinioji plokštelė sujungta su kairiąja plokštele antrojo kondensatoriaus, dešinioji to antrojo kondensatoriaus sujungta su kairiąja trečiojo ir t. t. ir pagaliau dešinioji plokštelė paskutinio kondensatoriaus sujungta su žeme. Aišku, kad toksai sujungimas niekuo nesiskiria nuo sujungimo, parodyto vaizdu II, nes čia mes turime dvi plokšteles, iš kurių viena prijungta prie elektros mašinos, o antra prie žemės, ir tarp tų plokštelių turime dielektrikos sluogsnį, į kurį įterptos dar dvi metalinės plokštelės. Bet lygiai aišku, kad šita kombinacija niekuo nesiskiria nuo kombinacijos, parodytos vaizdu III, nes įterptos dvi metalinės plokštelės neturi jokios reikšmės ir gali būti išmestos. Taigi sujungimas serijomis, arba kaskadomis, kondensatorių vienodo didumo ir formos sudaro vieną kondensatorių to paties ploto, bet su dielektriko sluogsniu n sykių storesniu kaip dielektriko sluogsnis vieno iš sujungiamų kondensatorių. Taigi sujungdami tokiu būdu mes gausime kondensatorių talpumo $\frac{C}{n}$, jeigu C reiškia vieno sujungiamų kondensatorių talpumą. Aišku, kad sujungdami taip, mes pralaimėsime talpumo atžvilgiu, bet laimėsime potencialų skirtumo atžvilgiu, nes n sykių storesnis dielektriko sluogsnis išlaikys n sykių didesnį potencialų skirtumą. 92 piešiny IV rodo sujungimą dviejų Leydeno bonkų serijomis, o V sujungimą lygiagrečiai.



92 pieš.

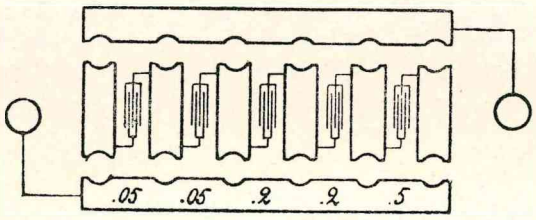
Laboratorijose ir praktikoje vartojama kondensatoriai dailiose medinėse dėžutėse. Tokių laboratorijos kondensatorių schemą duoda 93 piešinys. Čia mes turime 5 įvairaus talpumo kondensatorius. Visi tų kondensatorių nelygaus skaičiaus staniolės lapeliai sujungti tarp savęs ir prijungti prie metalinio tašelio, kuris sujungtas su žeme. O visi lygaus skaičiaus staniolės lapeliai kiekvieno kondensatoriaus prijungiami prie atskirų, skersai padėtų, metalinių tašelių, kaip rodo 93 piešinys. Taigi, iš vienos pusės tų skersų tašelių randasi tašelis, prijungiamas prie žemės, o iš antros — toksai pat metalinis tašelis, aprūpintas klema. Tarp šitų išilginių tašelių ir skersų tašelių išgręžtos apskritos skylės, į kurias galima įdėti metaliniai kamščiai arba kaiščiai (štepseliai) ir tokiu būdu gauti įvairių talpumų. Taip, įdėję metalinį kamštį į pirmąją apskritą skylę, iš piešinio apačios, mes turėsime talpumą 0,05 mikrofaradų; įdėję į antrą skylę tos pačios eilės antrą kamštį, mes sujungsime du to paties talpumo kondensatorius lygiagrečiai ir turėsime talpumą 2.0,05 = 0,1 mikrofaradų; o įkišę metalinius kamščius į visas skyles šitos



93 pieš.

apatinės eilės, mes sujungsime visus 5 kondensatorius paraleliai ir turėsime talpumą, lygų 0,05 + 0.05 + 0,2 + 0,2 + 0,5 = 1 mikrofaradas. Įkišę kamštį į skylę, pažymėtą skaitmeniu 0,2 arba 0,5, mes turėsime talpumus 0,2 arba 0,5 mikrofaradai. Vadinasi, šituo būdu mes galime ta pačia talpumo dėžute pasinaudoti, kad gautume įvairių talpumų, čionai ribose nuo 0 ligi 1 mikrofaradas.

94 piešinys atvaizduoja talpumo dėžutę su tokia kondensatorių kombinacija, kad galima būtų daryti sujungimus kondensatorių lygiagrečiai arba serijomis, kaip bus reikalinga. Paliekama skaitytojui pačiam suvokti, kaip sujungti parodyti šitam piešiny 5 kondensatoriai lygiagrečiai arba kaip sujungti jie iš eilės arba serijomis.



94 pieš.

Išlydymas konduktoriaus arba kondensatoriaus kibirkščia rodo, kad užtaisytas elektriškai konduktorius arba kondensatorius turi energijos. Formulą šitai energijai nesunku surasti apskaičius darbą, reikalingą tam, kad užtaisytume elektriškai konduktorių. Tegu elektros įlydis Q yra reikalingas tam, kad pakeltume kondensatoriaus potencialą ligi V. Konduktoriaus potencialu mes vadiname darbą, reikalingą tam, kad + elektros vienetą iš begalinio atokumo nuvarytume ligi konduktoriaus paviršiaus, ta vienok sąlyga, kad tasai + elektros vienetas, prisidėjęs prie kūno elektros įlydžio, nepakeistų žymiai jo potencialo. Bet čia mums reikia apskaityti darbas, reikalingas tam, kad suteiktume elektros įlydį Q konduktoriui, kurio potencialas iš pradžios yra lygus 0, o galutinai yra lygus V. Mes galime visą elektros įlydį padalyti į didelį skaičių n porcijų, taip kad kiekviena iš tų porcijų lygi $\frac{Q}{n}$ bus labai mažas dydis, ir suteikti visą įlydį konduktoriui tokiomis porcijomis. Tokiu būdu suteikdami konduktoriui elektrą porcijomis, mes kiekvieną sykį kelsime jo potencialą tais pačiais dydžiais, kol bus pasiektas potencialas V. Kadangi iš pradžios konduktoriaus potencialas yra lygus nuliui, o paskui tas potencialas yra lygus V, tai visam darbui apskaityti mes čia galime paimti aritmetinį vidurį iš 0 ir V, būtent, $\frac{V}{2}$. Taip skaitydami, mes gausime $\frac{Q.V}{2}$ darbo kiekį, kuris reikia atlikti suteikiant konduktoriui įlydį Q ir pakeliant jo potencialą ligi V. Tasai darbas bus lygus suteiktai konduktoriui elektriškai energijai. Taigi elektriška konduktoriaus energija yra lygi sandaugai iš elektros kiekio ir potencialo, padalytai iš 2.

Toki pat formula energijai įlydžio arba to įlydžio elektrostatiško lauko galima prieiti paėmus, aplamai, elektrostatinį lauką, sudarytą įlydžiais q_1, q_2, q_3..., sukoncentruotais iš eilės taškuose A, B, C... Sutikus, kad įlydis q_1 randasi taške A, o kiti įlydžiai q_2, q_3 ir t. t. randasi labai toli nuo taškų B ir C, teks atlikti darbas $\frac{q_1\ q_2}{AB}$, kad priartintume įlydį q_2 ligi taško B ir darbas $\frac{q_1\ q_3}{AC} + \frac{q_2\ q_3}{BC}$, kad priartintume įlydį q_3 ligi taško C. Taigi iš viso reiks atlikti darbas $\frac{q_1\ q_2}{AB} + \frac{q_1\ q_2}{AC} + \frac{q_2\ q_3}{BC} + \ldots = \sum \frac{q_m\ q_n}{r_{mn}}$.

Čia AB, AC, BC reiškia tiesialinį atokumą tarp atskirų taškų, bendrai pažymėtą ženklu r_{mn}. Taigi sudaryti tokiam elektrostatiškam laikui reikės atlikti darbas, kuris bus išreikštas eilės narių suma. Kiekvienas iš tų narių bus sandauga porio įlydžių, padalyta į tiesialinį atokumą tarp tų įlydžių. Taigi mūsų duotoje eilėje narių bus tiek, kiek galima bus sudaryti porių iš duotų įlydžių q_1, q_2, q_3... Aišku, kad šitoje eilėje kiekvienas įlydžių poris sandaugoje atsikartos tik vieną sykį ir todel bendrai atliktą darbą, sudarant tokią sistemą, mes galime išreikšti simboliu $\sum' \frac{q_m\ q_n}{r_{mn}}$. Tasai darbas bus lygus potencinei energijai, kuri bus suteikta sistemai.

Sutiksime dabar, kad visi įlydžiai randasi pozicijoje (tai yra randasi atatinkamuose taškuose), išėmus tik įlydį q_1, kuris randasi be galo toli nuo taško A. Kad perkeltume šitą įlydį q_1 iš begalinio atokumo į poziciją, vadinasi, į tašką A, reikės atlikti darbas $W_1 = \frac{q_1 q_2}{AB} + \frac{q_1 q_3}{AC} + \frac{q_1 q_4}{AD} + \ldots = q_1 \left(\frac{q_2}{AB} + \frac{q_3}{AC} + \frac{q_4}{AD} + \ldots\right)$. Aišku, kad kiekvienas narys skliaustuose reiškia potencialą ir suma visų narių skliaustuose yra ne kas kita, kaip potencialas taško A, kuris pareina nuo visų kitų sistemos dalių, išėmus tašką A. Pažymėsime šitą potencialą raide V_1. Tad atliekant nurodytą operaciją atliktas darbas bus $W_1 = q_1 V_1$.

Sakysime toliau, kad visi įlydžiai yra pozicijoje, išėmus tik įlydį q_2, kuris randasi begaliniam atokume nuo taško B. Kad perkeltume šitą įlydį q_2 iš begalinio atokumo į tašką B reikės atlikti darbas

$$W_2 = \frac{q_2 q_1}{AB} + \frac{q_2 q_3}{BC} + \ldots = q_2 \left(\frac{q_1}{AB} + \frac{q_3}{BC} + \ldots\right).$$

Cia vėl skliaustuose mes turime potencialą taško B, kuris pareina nuo visų kitų sistemos dalių, išėmus tašką B. Pažymėję šitą potencialą raide V_2, mes turėsime $W_2 = q_2 V_2$.

Sutiksime toliau, kad visi įlydžiai randasi pozicijoje, išėmus įlydį q_3, kuris randasi begaliniam atokume nuo taško C. Kad perkeltume šitą įlydį q_3 į poziciją, reikės atlikti darbas

$$W_3 = \left(\frac{q_1 q_3}{AC} + \frac{q_2 q_3}{BC} + \ldots\right) = q_3 \left(\frac{q_1}{AC} + \frac{q_2}{BC} + \ldots\right) = q_3 V_3.$$

Cia V_3 reiškia potencialą taško C, kuris pareina nuo visų kitų sistemos dalių, išėmus tašką C.

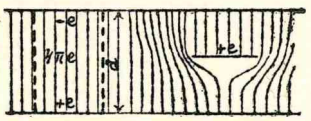
Apskaitydami tokiu būdu darbą kiekvienam iš duotų įlydžių atskirai ir sumuodami visus tuos darbus mes surasime visą darbą V, kuris reikia atlikti, kad sudarytume tokią sistemą. Taigi visas darbas bus

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \ldots = \left(\frac{q_1 q_2}{AB} + \frac{q_1 q_3}{AC} + \frac{q_1 q_4}{AD} + \ldots\right.$$

$$\left. + \frac{q_2 q_1}{AB} + \frac{q_2 q_3}{BC} + \ldots + \frac{q_1 q_3}{AC} + \frac{q_2 q_3}{BC} + \ldots\right) = q_1 V_1 + q_2 V_2 + q_3 V_3 + \ldots =$$

$= \sum q V$. Bet skliaustuose kiekvienas narys sudarytas porio įlydžių sandauga, padalyta į atokumą tarp tų įlydžių, vadinasi, aplamai, narys $\frac{q_m q_n}{r_{nm}}$ atsikartoja dusyk, būtent, vieną sykį tas narys atsiranda perkeliant į poziciją įlydį q_m, kitąsyk tas pats narys atsiranda perkeliant į poziciją įlydį q_n. Kadangi reiškinys $\frac{q_m q_n}{r_{mn}}$ reiškia potencinę energiją, tad išeina, kad sudarant nurodytą sistemą visas atliktas darbas yra lygus dusyk paimtai potencinei energijai. Vadinasi, potencinė sistemos energija yra lygi pusei viso atlikto darbo, t. y. $\frac{1}{2} \sum q V$, nes visas atliktas darbas sudarant nurodytą sistemą yra lygus $\sum q V$. Taigi, aplamai, jeigu mes turime ant kondensatoriaus paviršiaus įlydį Q ir potencialą V, tai elektrostatiška energija bus lygi $\frac{1}{2} Q V$. Pažymėsime kūno talpumą raide C. Tad $V = \frac{Q}{C}$ ir potencinė energija bus tada išreikšta tokia formula: $\frac{1}{2} Q \cdot \frac{Q}{C} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$.

Eidami šita formula elektrostatiškai energijai, apskaitysime jėgą, kuri veikia tarp užtaisyto kondensatoriaus plokštelių arba pamušalų. 95 piešinys atvaizduoja tokį kondensatorių su neapribotai ilgomis plokštelėmis sulyginti su atokumu d tarp jų. Tokiomis sąlygomis jėgų linijos tęsiasi nuo + plokštelės į — plokštelę tiesiomis lygiagrečiomis linijomis ir mes turime tarp plokštelių vadinamą homogeninį lauką. Pažymėsime elektros kiekį ant kondensatoriaus kolektoriaus raide Q ir potencialų skirtumą tarp abiejų kondensatoriaus plokštelių raide V ir kondensatoriaus talpumą raide C. Tad mes turime



95 pieš.

$Q = C.\ V$ arba $V = \frac{Q}{C}$. Bet $C = \frac{S}{4\,\pi\,d}$ (orui), kitaip sakant, kondensatoriaus talpumas yra atvirkščiai proporcingas atokumui d tarp jo plokštelių. Tai reiškia, kad potencialas $V = \frac{Q.\ 4\,\pi\,d}{S}$ yra tiesioginiu būdu proporcingas atokumui d tarp plokštelių. Taigi, tolindami kondensatoriaus plokšteles vieną nuo antros mes tempsime jėgų linijas ir todel atliksime darbą. Vadinasi, didinsime kondensatoriaus potencialą. Bet svarstomojo kondensatoriaus energija yra lygi $\frac{1}{2}$ Q. V (remiantis duota formula elektrostatiškos sistemos energijai). Taigi ir šita energija yra tiesioginiu būdu proporcinga atokumui d tarp kondensatoriaus plokštelių. Pažymėję traukos jėgą, kuri veikia tarp kondensatoriaus plokštelių, raide F, mes šitai energijai gausime tokį reiškinį: F. d. Tai bus darbas, kuris reikia atlikti, kad prieš traukos jėgą atitolintume vieną plokštelę nuo antros per atokumą d. Tegu $\frac{Q}{S} = \sigma$ = elektros tankumui ant kondensatoriaus kolektoriaus. Kadangi mes čia turime homogeninį lauką, tai traukos jėga, veikianti tarp kondensatoriaus plokštelių, skaitant 1 kv. cm. ploto, bus $f = 4\,\pi\,\sigma$ ir, vadinasi, potencialų skirtumas bus $V = 4\,\pi\,\sigma\,d$. Tai reiškia, kad energija, skaitant 1 kv. cm. bus $\frac{1}{2}\,\sigma\,V = 2\,\pi\,\sigma^2\,d = \frac{1}{2}\,f\,\sigma$. d ergų = $\frac{1}{2}\,f\,\sigma$ dinų × d cm., nes $2\,\pi\,\sigma = \frac{1}{2}f$ (iš $f = 4\,\pi\,\sigma$). Taigi išeina, kad elektrostatiškam lauke stiprumo f jėga, veikianti tarp dviejų užtaisytų plokštelių skaitant 1 kv. cm. ploto, yra lygi $\frac{1}{2}\,t\,\sigma$ dinų arba yra lygi $\frac{f^2}{8\,\pi}$ dinų, nes iš $f = 4\,\pi\,\sigma$ išeina $\sigma = \frac{f}{4\,\pi}$. Bet, aplamai, jeigu mes turime lauką stiprumo f, tai jėga, veikianti įlydį σ, yra lygi $f\,\sigma$, tuo tarpu čionai mes gauname tai jėgai reiškinį pusės šito dydžio. Tegu į lauko vidurį tarp kondensatoriaus plokštelių bus įterpta užtaisyta elektros kiekiui σ plokštelė 1 kv. cm. ploto, kaip rodo 95 piešinys iš dešinės pusės. Taigi šita įterpta plokštelė bus sujungta su kondensatoriaus — plokštelė f jėgų linijomis, kurios trauks šitą įterptą plokštelę su jėga $\frac{1}{2}\,f\,\sigma$. Prieš įterpiant užtaisytą plokštelę tarp kondensatoriaus plokštelių nuo kiekvieno kv. cm. + kondensatoriaus plokštelės tęsiasi f jėgų linijų tiesioginiu būdu į — kondensatoriaus plokštelę. Įterpus užtaisytą plokštelę tos linijos priverstos yra dabar aplenkti įterptą plokštelę, kaip rodo 95 piešinys. Tų jėgų linijų užlenktos dalys reiškia šoninį spaudimą į įterptą plokštelę ir tasai šoninis spaudimas sudaro čionai $\frac{1}{2}\,f\sigma$, vadinasi, kaip tik pusę visos jėgos $f\,\sigma$.

Įsivaizduokime dabar sau tiesakampį paralelopipedą, kurio bazių plotas yra lygus 1 kv. cm. ir atokumas tarp tų bazių yra lygus d cm. To paralelopipedo tūris bus d kub. cm. Paimsime tokį paralelopipedą tarp kondensatoriaus plokštelių, kaip rodo 95 piešinys iš kairės pusės. Energijos kiekis tame paralelopipede, kaip jau mes matėme,

yra lygus $2 \pi \sigma^2$ d. Vadinasi, energijos kiekis skaitant 1 kub. cm. tarpo tarp kondensatoriaus plokštelių yra lygus $2 \pi \sigma^2 = \frac{1}{2} f \sigma = \frac{f^2}{8 \pi}$ ergų. Šita formula veikia tada, kada tarp kondensatoriaus plokštelių yra oro. Jeigu tarp kondensatoriaus plokštelių randasi dielektrikas dielektrinės konstantos K, tai potencinė energija tokio kondensatoriaus, skaitant 1 kub. cm., yra lygi $\frac{K f^2}{8 \pi}$, nes tokiu atveju per kiekvieną kvadratinį centimetrą normaliai pereina Kf jėgų linijų, jeigu ore tokiomis pat sąlygomis pereina f jėgų linijų.

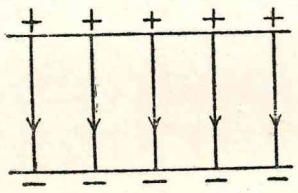
Kada talpumas darosi toksai didelis, jog dielektrikas negali jo išlaikyti, tai susidaro kibirkštis, jėgų linijos susitraukia toje kibirkštyje taip pat kaip laidininke ir atpalaiduoja tokiu būdu savo potencinę energiją, kuri reiškiasi pavidalu kibirkšties, šilimos, šviesos, garso ir mechaniško veikimo.

Taigi kondensatoriaus energija didėja didėjant atstumui tarp jo plokštelių, tai yra didėjant dielektriko tūriui. Tai reiškia, kad kondensatoriaus energija glūdi jo dielektrike, kaip tai matyt ir iš kitų elektriškų reiškinių, paminėtų ketvirtame ir šitame paragrafuose. Mes čia turime darbo su savo rūšies elektrišku tempimu, kuris sudaro įtemptą dielektriko būklę ir tuo būdu taupia potencinę energiją. Tempdami elastingą šniūrą jėga f taip, kad to šniūro ilgis padidėtų s cm., mes atliekame darbą $\frac{1}{2}$ fs ir tokiu būdu suteikiame šniūrui potencinę energiją $\frac{1}{2}$ fs (čia jėga f iš pradžios yra lygi 0, o paskui yra lygi f). Nustojus veikti tempiamajai jėgai elastingas šniūras atsitaiso (atitaiso savo pirmykštį ilgį) ir atsitaisydamas atiduoda sutaupytą energijos kiekį. Elektriškas dielektriko įtempimas nėra tas pats dalykas, kaip mechaniškas elastingo kūno įtempimas, bet visgi mes čia turime labai gerą analogiją ir todel galime kalbėti apie elektrišką elastingumą ir apie elektrišką modulį. Paimsime du kondensatorius tos pačios formos ir to paties didumo, vieną oro pripildytą, o antrą dielektriko dielektrinės konstantos K. Tegu tie du kondensatoriai užtaisyti tuo pačiu kiekiu elektros, vadinasi, charakterizuojasi tuo pačiu elektros tankumu σ. Tad elektriškasai tempimas arba elektriškasai intensingumas (tempiamoji jėga) vienu atveju bus $4 \pi \sigma$, o kitu atveju $\frac{4 \pi \sigma}{K}$ (kondensatoriui su dielektriku dielektrinės konstantos K). O elektriškasai įtempimas ir vienu ir antru atveju yra lygus σ (žiūr. 4 §). Elastingumo moduliu mes vadiname santykį tarp tempimo, arba tempiamosios jėgos, ir tarp įtempimo (žiūr. „Skysčiai ir Dujos" 2 §, pusl. 53, 54). Taigi elektriškasai modulis orui yra lygus $\frac{4 \pi \sigma}{\sigma} = 4 \pi$, o dielektrikui dielektrinės konstantos K tasai modulis yra lygus $\frac{4 \pi \sigma}{K} = \frac{4 \pi}{K}$. Kitaip sakant, elektriško elastingumo modulis yra atvirkščiai proporcinga medžiagos dielektrinei konstantai — išvada, su kuria mums teks skaitytis, kada reikės kalbėti apie elektromagnetinių bangų greitumo formulą.

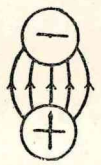
Antra vertus, jeigu abudu paimti kondensatoriai bus užtaisyti elektriškai ligi to paties potencialų skirtumo V, tai tokiomis sąlygomis oro kondensatoriui bus suteiktas elektros tankumas σ ir elektriškasai įtempimas σ, antram kondensatoriui bus suteiktas elektros tankumas $K\sigma$ ir tokio pat didumo elektriškas įtempimas. Vadinasi, norint sudaryti antram kondensatory elektros tankumas σ ir elektriškas įtempimas σ reikės suteikti tam kondensatoriui potencialų skirtumas $\frac{V}{K}$. Tad energija šito kondensatoriaus, skaitant 1 cm.^{2}, bus $\frac{V\sigma}{2K}$, o energija oro kondensatoriaus bus $\frac{V\sigma}{2}$. Kitaip sakant, kad sudarytume tą patį įtempimą kondensatoriuje su dielektriku turime išeikvoti tik $\frac{1}{K}$ to darbo, kuris reikalingas tam, kad toks pats įtempimas būtų sudarytas oro kon-

densatoriuje. Taigi, ir iš to išeina, kad elektriškasai modulis dielektriko yra lygus $\frac{1}{K}$ elektriško modulio oro. Kadangi kondensatoriaus plokštelėse, kaipo laidininkuose, jokio įtempimo nėra, tai laidininko uždavinys yra tik tas, kad greitai būtų nuimta nuo dielektriko paviršiaus elektra arba greitai padalyta ta elektra ant dielektriko paviršiaus.

Kad geriau suprastume, kas yra „elektriškas įtempimas“ arba „dielektrinė polarizacija“, arba „Maxwelio elektriškasai pasistūmimas“, pasinaudosime šiomis iliustracijomis.

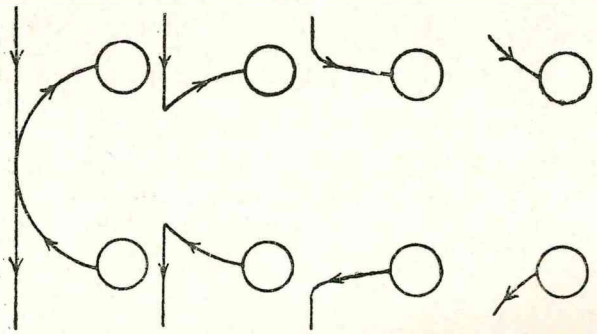


96 pieš.

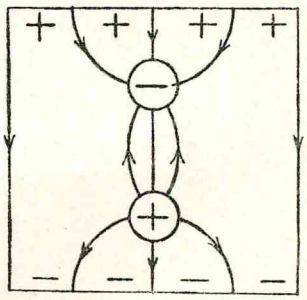


96 a pieš.

Paimsime du rutuliukus, užtaisytus + ir — elektra (žiūr. 96 pieš.). Tegu tie du rutuliukai bus sujungti penkeriais vieneto jėgų vamzdeliais, tai yra, kad vienas rutuliukas bus užtaisytas + 5, o antras —5 elektros vienetais. Paimsime dar dvi plokšteles irgi užtaisytas + 5 ir — 5 vienetais, taip kad tarp tų plokštelių mes irgi turėsime 5 vieneto vamzdelius arba 5 vieneto linijas. Tegu + įlydis randasi ant apatinio rutuliuko, o — įlydis ant viršutinio, tuo tarpu ant viršutinės plokštelės randasi + įlydis, o ant apatinės — įlydis. Priimsime, kad rutuliukai slenka, artinasi prie plokštelių ir pagaliau patenka į tarpą tarp jų. Tokiu būdu kraštutinė rutuliukų jėgų linija užeis ant pirmosios plokštelių jėgų linijos ir, kadangi abidvi tos linijos atkreiptos į priešingas puses, jos neutralizuos viena antrą ir išnyks. 97 piešinys rodo, kaip pakitės tos dvi priešingai atkreiptos jėgų linijos. Pagaliau jėgų linija tarp rutuliukų išnyks ir jos vietoj bus dvi jėgų linijos, einančios nuo vieno rutuliuko į viršutinę plokštelę, o nuo antro rutuliuko į apatinę plokštelę. Skverbiantis toliau dviem užtaisytiems rutuliukams į tarpą tarp užtaisytų plokštelių, tas pats likimas pasieks, sakysime, ir antrą ir trečią



97 pieš.

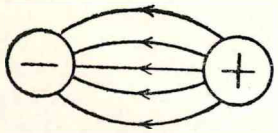


98 pieš.

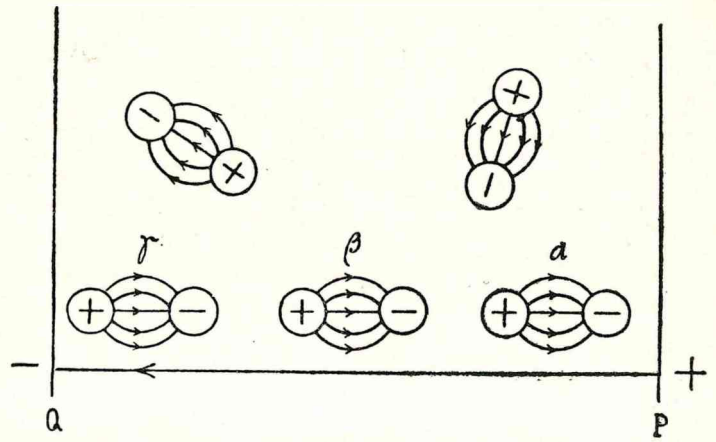
jėgų linijas: jos bus neutralizuotos priešingomis plokštelių jėgų linijomis, ir, pagaliau, mes gausime tokį jėgų linijų padalijimą, kaip rodo 98 piešinys. Ir čia, kaip iš pradžios, kiekvienas rutuliukas turi 5 linijas. Bet tarp rutuliukų pasiliko tik dvi jėgų linijos, o trys jėgų linijos tęsiasi nuo viršutinės plokštelės į viršutinį rutuliuką ir taip pat trys jėgų linijos tęsiasi nuo apatinio rutuliuko į apatinę plokštelę. Iš 5 jėgų linijų tarp plokštelių pasiliko tik 2 pilnos. O iš viso sistema, atvaizduota 98 piešiniu, turi tiek pat jėgų linijų, kiek buvo iš pradžios, būtent 10. Šitas naujas jėgų linijų padalijimas rodo, kad ryšiai tarp rutuliukų pasidarė silpnesni, o ryšiai tarp plokštelių ir rutuliukų sustiprėjo.

Aprašytas čia vaizdas palengvina mums suprasti tą fizinę būklę, kurią mes vadiname elektrišku įtempimu. Kaip mes pamatysime toliau, yra rimtų pagrindų manyti, kad atomai ir molekulos sudaryti iš dviejų dalių: elektriškai teigiamos ir elektriškai neigiamos. Taigi mes šiandien turime pagrindo identifikuoti chemišką traukos jėgą su elektriška traukos jėga. Remiantis šituo galima sudaryti molekulinė elektriško įtempimo

hipotezę. 99 piešinys rodo molekulos vaizdą. Mes čia turime du molekulos atomus arba, apalamai, dvi molekulos dalis, dviejų rutuliukų pavidalu, vieną elektriškai neigiamą, kitą elektriškai teigiamą. Tarp tų molekulų dalių veikia ryšiai, kurie atvaizduoti čionai 5 jėgų vamzdeliais arba 5 jėgų linijomis, einančiomis iš teigiamos dalies į neigiamą. Šitos linijos yra įtemptos ir todel jos stengiasi susitraukti ir priartinti vieną rutuliuką prie antrojo ligi kontakto. Taigi, kad šita sistema būtų pusiausvyroje tam tikram atokume + dalies nuo — dalies, reikia sutikti, kad jos sukasi viena apie antrą, nelyginant kaip žemė ir mėnulis sukasi viena apie antrą, nes, jeigu to nebūtų, veikiant traukos jėgai mėnulis nukristų ant žemės arba žemė ant mėnulio. Bet, kalbėdami apie elektrišką įtempimą, mes galime abstrahuoti

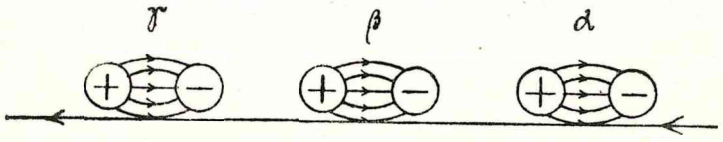


99 pieš.

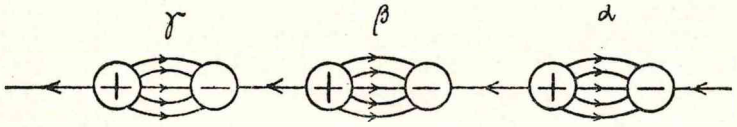


100 pieš.

nuo šito judėjimo. Kada dielektrikas randasi neutralėje būklėje, mes galime sutikti, kad jo molekulų ašys (linijos, jungiančios + ir — polius) padalytos vienodai visokiomis kryptimis, taip kad bet kuria kryptimi mes turime tą patį skaičių teigiamų ir neigiamų ašių galų, kaip rodo 100 piešinys iš viršaus. Tokiomis sąlygomis atstojamoji elektriško veikimo išorėj yra lygi 0 ir mes neturime jokių ženklų molekulinių įlydžių. Padėsime dabar dielektriką, kuris susideda iš tokių molekulų, orientuotų įvairių įvairiausiomis kryptimis, tarp dviejų metalinių plokštelių ir užtaisysime vieną iš tų plokštelių teigiamai, o antrą neigiamai. Jeigu tarp plokštelių nebūtų dielektriko, tai jėgų vamzdeliai arba jėgų linijos tęstųsi nuo + plokštelės į — plokštelę linijomis, lygiagrečiomis linijai PQ (žiūr. 100 pieš.). Bet, kadangi tarp plokštelių yra dielektrikas, tos jėgų linijos eis nuo plokštelės į plokštelę per tokias eiles dielektriko molekulų, kurios palengvins, taip sakant, jėgų linijoms išsitiesti nuo vienos plokštelės į antrą. Tegu eilę tokių molekulų sudaro molekulos α, β, γ. Nesunku matyti, kad įtempimo linija PQ, jeigu ji prisiartins prie kraštutinių molekulų linijų, neutralizuos ir panaikins šitą kraštutinę liniją visoms toms trims molekuloms, kaip jau anksčiau aprašyta (žiūr. 96, 97 ir 98 pieš.).



101 pieš.



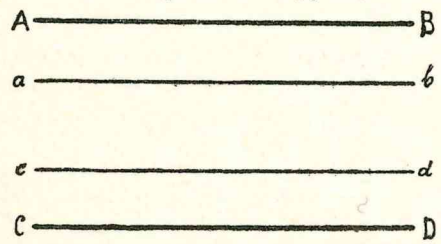
102 pieš.

Taigi šita eilė molekulų iš pradžios atrodys taip, kaip atvaizduoja 101 piešinys, o paskui taip, kaip atvaizduoja 102 piešinys. Viena įtempimo linija išnyks ir pasiliks tik keturios. Užtat atsiras įtempimo linija nuo vienos molekulos į antrą molekulą ir tos tarpmolekulinės įtempimo linijos ir sudarys dabar įtempimo liniją nuo + plokštelės į — plokštelę. Bet tokio naujo įtempimo linijų padalijimo išdava bus ta, kad ryšiai tarp molekulos teigiamos dalies ir neigiamos bus nusilpninti, viena del to, kad tarp tų dalių pasiliks tik

keturios linijos, o antra del to, kad gretimų molekulų galai bus dabar tempiami į priešingas puses. Taigi, mes čia turėsime jėgas, kurios veiks ta prasme, kad perskirtų molekulų dalis, vienu žodžiu, kad suskaldytų molekulą. Tai bus pradžia to chemiško proceso, kuris vadinasi disociacija. Taigi, einant šita hipoteze, chemiškos disociacijos pradžia sudaro tai, ką mes vadiname mediumo elektrišku įtempimu. Jeigu į tą patį molekulų retežį α, β, γ prasiskverbs dar antroji įtempimo linija nuo + plokštelės į — plokštelę, tad tarp molekulų dalių pasiliks tik trys linijos. Užtat nuo molekulos į molekulą bus ištiestos dvi linijos. Nesunku suprasti, kad augant potencialų skirtumui tarp + plokštelės ir — plokštelės visos linijos tarp molekulų dalių bus panaikintos. Užtat gretimų molekulų galai bus sujungti atatinkamai didesniu skaičiumi įtempimo linijų. Mes tada turėsime pilną molekulų dalių disociaciją ir persigrupavimą išilgai viso molekulų retežio ir del tos priežasties elektrifikacija bus panaikinta. Tai atsitinka, kada prasideda išlydis kibirkšties pavidalu.

Išdėstyta čia molekulinė hipotezė elektriško įtempimo arba dielektrinės polarizacijos labiausiai atatinka žinomiems mums faktams, bet visgi galutinai neišsprendžia šito dalyko esmės.

Specifinio indukcijos talpumo nagrinėjimas (arba dielektrinės konstantos), kuris pareina nuo aprašytos čia dielektrinės polarizacijos, komplikuojasi tais fenomenais, kurie žinomi likučių efektais ir apie kuriuos jau buvo paminėta anksčiau. Būtent, užtaisius elektriškai kondensatorių, sakysime, Leydeno bonką, palikus ją stovėti kurį laiką ir paskui ją išlydžius (tai yra ištraukus iš jos su pagalba iškroviklio kibirkštis), ji atrodo iš pradžios taip, kad ji, tarytum, visiškai išlydyta, nes jos pamušalai pasirodo to paties potencialo. Bet palikus ją vėl stovėti kurį laiką, taip kad jos išorinis pamušalas būtų izoliuotas, ant jos abiejų pamušalų atsiranda elektros įlydžių to paties ženklo, kaip buvo iš pradžios, ir todel su pagalba iškroviklio galima vėl gauti iš jos kibirkštis, bet jau žymiai silpnesnė kaip buvo iš pradžios. Tokį Leydeno bonkos išlydymą galima atkartoti keletą sykių, gaunant vis silpnesnių ir silpnesnių kibirkščių, jeigu tik, išlydžius ją, duoti jai kurį laiką pastovėti, taip kad jos išvidinis pamušalas būtų izoliuotas. Visi šitie išlydžiai yra to paties ženklo kaip ir pirmasai išlydis, vadinasi, kiekvieną sykį, sakysime, ant išorinio pamušalo Leydeno bonkos atsiranda + elektra, o ant išvidinio — elektra. Išlydžius Leydeno bonką pirmą sykį ir sujungus jos išvidinį pamušalą su elektroskopu, pasirodys, kad elektroskopo lapeliai ima skirtis ir persiskiria juo labiau, juo ilgiau elektroskopas bus sujungtas su išvidiniu bonkos pamušalu. Jeigu mes turime elektroskopą su šoniniais metaliniais diskais, tai lapeliai persiskiria, kol jie palies tuos šoninius diskus. Palietę, jie išlydo Leydeno bonką, paskui vėl ima skirtis, vėl išlydo ir t. t. Nesunku įrodyti, kad kiekvieną sykį išvidinis Leydeno bonkos pamušalas įgyja to paties ženklo elektros įlydį kaip buvo iš pradžios. Pasidaro toksai įspūdis, kad iš bonkos stiklo (dielektriko) kiekvieną sykį išeina ant išvidinio pamušalo, sakysime, — įlydis, o ant išorinio pamušalo + įlydis. Šitie įlydžiai žinomi likučių įlydžiais ir todel kartotini Leydeno bonkos išlydžiai vadinami likučių išlydžiais



103 pieš.

Užtaisius elektriškai Leydeno bonką iki tam tikro potencialo ir palikus ją stovėti taip, kad išvidinis jos pamušalas būtų izoliuotas, galima konstatuoti, kad bonkos potencialas pamaži krinta ir todel, išlydžius ją, per kurį laiką išlydis bus mažesnis, kaip pirmykštis jos įlydis. Šitas fenomenas daro tokį įspūdį, kad, tarytum, jis esąs surištas su dielektriko laidumu ir todel Faraday'us manė, kad dalinai + ir — bonkos pamušalų įlydžiai nuo tų pamušalų skverbiasi į dielektriką, artindamiesi vienas prie antro, kaip rodo 103 piešinys, kur linijos AB ir CD reiškia bonkos arba kondesatoriaus pamušalus, o linijos ab ir cd reiškia prasiskverbusias į dielektriką tarp pamušalų dalis + ir — įlydžių. Juo ilgiau stovi izoliuota bonka arba izoliuotas kondensatorius, juo

giliau prasiskverbs tie du įlydžiai ir juo arčiau jie bus vienas nuo antro. Tie du įlydžiai ab ir cd skverbiasi į dielektriką, tarytum, stumiami to paties ženklo pamušalų AB ir CD įlydžiais. Išlydžius paprastu būdu pamušalus AB ir CD įlydžiai ab ir cd nebebus stumiami nuo pamušalų ir todel per kurį laiką bent dalis tų įlydžių sugrįš į pamušalus AB ir CD. Vadinasi, pamušalai AB ir CD bus vėl užtaisyti elektra to paties ženklo kaip buvo iš pradžios ir todel kondensatorius galima bus išlydyti antrą sykį, bet jau gaunant silpnesnę kibirkštį. Bet šita dielektriko laidumo hipotezė nesuderinama su šiais Kohlrauscho konstatuotais faktais. Būtent, užtaisius Leydeno bonką ligi tam tikro potencialo ir izoliavus ją, jos potencialas pamaži krinta, kaip jau pažymėta anksčiau, ir tasai potencialo kritimas per tam tikrą laiką yra tiesiog proporcingas pradžios potencialui. Be to, išlydant Leydeno bonką bet kuriuo laiko momentu tasai išlydis yra proporcingas bonkos potencialui, kuris buvo kaip tik prieš patį išlydį. Kohlrauschas, kuris nustatė šituos faktus, manė, kad likučių efektas yra labai panašus į vadinamąjį „elastingą poveikimą“ ištemptų arba užsuktų elastingų vielų (žiūr. „Skysčiai ir Dujos“ 2 §, puslap. 12). Paimsime stiklo vielą, įdėsime jos viršutinį galą į spaustuvus, o apatinį jos galą užsuksime. Atleidus ją, ji atsisuks, bet ne visiškai. Palaikysime vėl šitą vielą kurį laiką šitoje naujoje būklėje ir vėl atleisime. Ir vėl truputį atsisuks prasme savo pirmykštės būklės ir t. t. Šitą elastingą poveikimą mes galime išaiškinti, pripažinę, kad vienos stiklo dalys laiko įsigytą įtempimo energiją kol veikia įtempimas, tuo tarpu kaip kitose stiklo dalyse ta įtempimo energija išsisklaido, vadinasi, tempimas mažėja, nepaisant to, kad įtempimas pasilieka. Įsivaizduokime, pavyzdžiui, kad išorinis stiklo vielos sluogsnis yra tobulai elastingas ta prasme, kad tam sluogsny tempimas (tempiamoji jėga) visuomet yra proporcingas įtempimui, bet kad stiklo vielos išvidinis sluogsnis arba šerdis nuosakiai nustoja savo įtempimo energijos, nežiūrint to, kad įtempimas pasilieka. Užsuksime tokią heteroginės struktūros vielą. Jeigu ta viela bus atleista dar nespėjus išsisklaidyti šerdies įtempimo energijai, tai ji išsyk sugrįš į savo pirmykštę būklę (vadinasi, pilnai atsisuks). Bet jeigu ta pati viela užsuktoje būklėje bus palaikyta kurį laika, tempimas jos šerdyje nuosakiai mažėja ir todel efektyvus įtempimas irgi mažėja. Taigi, atleidus vielą, efektyvus šerdies įtempimas bus visiškai panaikintas, kol viela spės pilnai atsisukti. Bet šioks toks tempimas visgi pasilieka dar išoriniame vielos sluogsnyje ir todel tasai išorinis sluogsnis stengiasi atsisukti ir jis suksis atgal pirmykštės būklės prasme tol, kol vielos šerdis bus įtempta priešinga prasme, taip kad tos šerdies neigiamas tempimas bus kompensuotas teigiamu išorinio vielos sluogsnio tempimu, kuris dar tame sluogsnyje pasilieka. Laikant vėl šitoje būklėje vielą kurį laiką, šerdies neigiamas tempimas mažėja, ir todel, atleidus vielą išorinis sluogsnis vėl kiek atsisuks ir vėl suteiks šiek tiek neigiamo tempimo šerdžiai ir t. t. Taigi, jeigu vielos išorinis sluogsnis yra tobulai elastingas, tai viela nuosakiai atsisuks ir grįš į savo pirmykštę būklę. Bet jeigu ir tasai išorinis sluogsnis nėra tobulai elastingas ir, vadinasi, duoda progos įtempimo energijai išsisklaidyti, tokios vielos atsisukimas niekuomet nebus pilnas.

Remdamasis šita analogija Maxwellis duoda tokią hipotezę likučių efektams išaiškinti. Jis pripažįsta, kad likučių efektai reiškiasi tik tada, kada dielektrikas nėra homogeninis, bet turi heterogeninę struktūrą ta prasme, kad to dilektriko vienos dalys šiek tiek praleidžia elektros, tuo tarpu kaip kitos dalys visiškai izoliuoja. Einant anksčiau išdėstyta molekuline hipoteze dielektrinės polarizacijos arba elektriško įtempimo tasai įtempimas dielektrike reiškiasi tuo, kad susidaro molekulų retežiai su + ir — poliais molekulų, taisyklingai orientuotais. Tegu kiekviena molekula susideda iš teigiamai užtaisytos dalies a ir neigiamai užtaisytos dalies b. Neutralėje, neelektrifikuotoje dielektriko būklėje tos molekulos ab bus orientuotos įvairių įvairiausiomis kryptimis, taip kad išorinis tų molekulų įlydžių efektas bus 0. Bet, jeigu dielektrikas bus padėtas tarp dviejų metalinių plokštelių AB ir EF, iš kurių pirmoji bus užtaisyta—elektra, o antroji + elektra, tai dielektrikas bus įtemptas ir bent dalis tų molekulų sudarys retežius tarp plokštelių AB ir EF, ir mes gausime, sakysime, šitokią molekulų orientaciją:

AB | a b a b a b a b | EF.

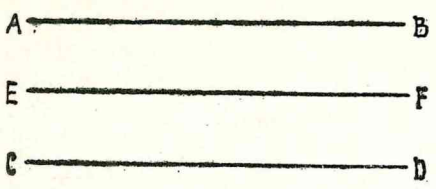
Augant dielektriko įtempimui ryšiai tarp molekulų dalių (jėgų vamzdeliai) bus smarkiau ištempti ir mes gausime šitokį vaizdą:

AB | a b a b a b a b | EF.

Jeigu dielektrikas reiškia šiokį tokį elektros laidumą, tai to laidumo padariniai bus tie, kad molekulų retežis bus pertrauktas, taip kad pirmos molekulos teigiama dalis a bus pritraukta prie — plokštelės AB ir neutralizuos dalį tos plokštelės elektros, tuo tarpu kaip tos molekulos neigiama dalis b susijungs su teigiama dalimi a antrosios molekulos ir t. t. per visą retežio liniją, taip kad paskutinės molekulos neigiama dalis b bus pritraukta prie + plokštelės EF ir neutralizuos dalį tos plokštelės elektros ir mes gausime tokį vaizdą:

AB | a ba ba ba b | EF.

Mes galime spėti, kad tokiam dielektrike, kuris silpnai leidžia elektrą, tik maža dalis molekulų retežių pertraukiama aprašytu būdu per 1 sekundą ir kad ta dalis proporcinga potencialo kritimui. Taigi, einant šita hipoteze galima suprasti, kodel užtaisyta elektriškai izoliuota Leydeno bonka per kurį laiką išsilydo, kodel potencialo kritimas per tam tikrą laiką yra proporcingas potencialui ir pagaliau, kodel išlydis bet kuriuo laiko momentu yra proporcingas potencialui, kuris buvo kaip tik prieš tą išlydį.



104 pieš.

Įsivaizduokim dabar kondensatorių ABCD (žiūr. 104 pieš.) su dielektriku dielektrinės konstantos K, bet heterogeninės struktūros ta prasme, kad viršutinė dielektriko pusė aukščiau linijos EF truputį leidžia elektros, tuo tarpu apatinė jo pusė yra tobulas izolatorius. Užtaisysime šitą kondensatorių elektriškai, taip kad įtempimas dielektriko pasidarytų lygus 32 vienetams, ir izoliuosime viršutinę kondensatoriaus plokštelę. Šitas įtempimas pasilieka apatinėje kondensatoriaus pusėje EFCD, tuo tarpu del laidumo viršutinės pusės ABEF efektyvus įtempimas tos pusės nuosakiai mažėja del molekulų retežių trūkimo, kaip anksčiau išaiškinta. Tegu kondensatorius pasiliks izoliuotas, kol įtempimas viršutinėje jo pusėje pasidarys lygus 16 vienetų. Tai parodo, kad ant plokštelės AB mes tada turėsime tik + 16 vienetų elektros (įlydį + 16). Plotmėje EF mes turėsime įlydį 32 —16 = +16, o ant kondensatoriaus plokštelės CD įlydis bus—32, kaip buvo iš pradžios. Išlydysime dabar paprastu būdu kondensatorių, sujungdami plokšteles AB ir CD laidininku. Tad + 16 elektros vienetų plokštelės AB bus neutralizuota— 16 elektros vienetų plokštelės CD. Vadinasi, plokštelė AB bus visiškai išlydyta. Bet ji yra sujungta laidininku su plokštele CD, ant kurios vis dar pasilieka — 16 vienetų. Kadangi abiejų plokštelių potencialas yra tas pats, kada jos sujungtos laidininku, tai šitas įlydis —16 pasidalys lygiai tarp plokštelių AB ir CD. Tai rodo, kad įlydis —8 pereis nuo plokštelės CD į plokštelę AB, o tai yra ekvivalentinga tolimesniam išlydymui nuo plokštelės AB +8 elektros vienetų. Taigi sujungiant plokšteles AB ir CD laidininku pirmąsyk, visas plokštelės AB išlydis bus lygus +16 +8 = +24. Tada mes turėsime tą patį potencialą ant plokštelių AB ir CD, įlydį +16 plotmėje EF ir įtempimą viršutinėje kondensatoriaus pusėje ABEF—8 ir apatinėje kondensatoriaus pusėje EFCD +8.

Izoliuosime vėl kondensatoriaus plokštelę AB ir paliksime taip kurį laiką. Vėl del laidumo viršutinės kondensatoriaus pusės įtempimas - 8 tarp plotmės EF ir plokštelės AB nuosakiai mažės, tuo tarpu teigiamas įtempimas tarp plotmės EF ir plokštelės CD pasiliks. Taigi aišku, kad potencialų skirtumas tarp plokštelių AB ir CD pasidarys vėl teigiamas, kaip buvo iš pradžios, tiktai mažesnis. Paliksime kondensatoriaus plokštelę AB izoliuotą, kol neigiamas įtempimas tarp AB ir EF sumažės nuo — 8 ligi — 4. Tai rodo, kad tada įlydis plotmėje EF bus + 12. Sujungus vėl laidininku plokšteles AB ir CD įlydžiai ant jų — 4 ir — 8 pasidalys tarp jų vienodai, kitaip sakant, nuo plokštelės CD į plokštelę AB pereis įlydis — 2, o tai yra ekvivalentinga išlydžiui + 2

iš plokštelės AB. Dabar mes turėsime įlydį — 6 ant vienos ir antros plokštelės ir įlydį + 12 plotmėje EF. Izoliavus vėl plokštelę AB, kol įtempimas tarp jos ir plotmės EF sumažės nuo — 6 ligi — 3 ir sujungus vėl laidininku plokšteles AB ir CD, mes turėsime vėl perėjimą įlydžio — 1,5 nuo plokštelės CD į plokštelę AB, o tai yra ekvivalentinga išlydžiui + 1,5 nuo AB, pasiliekant išlydžiui + 9 plotmėje EF. Taigi sutikus, kad kiekvieną sykį izoliavus plokštelę AB įtempimas tarp jos ir plokštelės EF mažėja per pusę, mes iš eilės turėsime šitokius išlydžius nuo plokštelės AB:

24, 2, 1,5, 1,125 . . .

Aišku, kad mes gausime tuos išlydžius tol, kol ant plokštelės CD bus šioks toks įlydis, kitaip sakant, kol tarpas tarp EF ir CD bus visiškai atpalaiduotas nuo elektriško įtempimo. Taigi, jeigu apatinė kondensatoriaus dalis EFCD absoliučiai izoliuoja, tai suma visų tų eilinių išlydžių bus lygi pirmykščiam kondensatoriaus įlydžiui. Bet, jeigu sluogsnis dielektriko tarp EF ir CD ne visiškai izoliuoja, o šiek tiek leidžia elektros nors ir blogiau kaip viršutinis sluogsnis, tai suma eilinių išlydžių bus mažesnė, kaip pirmykštis įlydis, suteiktas kondensatoriui, del sumažėjimo įtempimo apatinėje kondensatoriaus dalyje.

Iš to, kas čia pasakyta apie heterogeninės struktūros dielektriką, aišku, kad homogeninės struktūros dielektrikas, nors jis ir būtų silpnas laidininkas, negali reikšti jokio likučių efekto. Išlydant kondensatorių su tokiu dielektriku įtempimas iš syk ir tuo pačiu laiku išnyks per visą dielektriką tarp plokštelių ir pirmasai išlydis bus pilnas išlydis, nes mediume nebeliks jokių įlydžių, kaip tai buvo išlydant kondensatorių su heterogeniniu dielektriku.

Turint heterogeninį dielektriką net ir tokiais atvejais, kada kondensatorius išlydytas pirmą sykį, užtaisomas elektra priešinga kryptimi, bet silpniau kaip jis buvo užtasytas iš pradžios, ir paliktas izoliuotoje būklėje kurį laiką gali reikšti likučių įlydį to paties ženklo kaip pirmasai įlydis. Einant išdėstyta Maxwellio-Faraday'aus teorija tas suprantama. Išlydžius kondensatorių pirmą sykį (žiūr. 104 pieš.) įtempimas viršutinėje kondensatoriaus pusėje buvo — 8, o apatinėje + 8. Suteiksime dabar plokštelei AB įlydį — 4, o plokštelei CD įlydį + 4. Tada mes turėsime įtempimą — 12 viršutinėje pusėje ir + 4 apatinėje pusėje. Vadinasi, potencialas AB bus žemesnis kaip potencialas CD. Palikus kondensatorių kurį laiką izoliuotoje būklėje, įtempimas viršutinėje pusėje sumažės ligi — 4 ir dar labiau. Kitaip sakant, potencialas AB vėl pasidarys didesnis kaip potencialas CD ir vėl mes gausime teigiamą išlydį nuo plokštelės AB.

Išdėstyta čia likučių efekto teorija nesugeba išaiškinti visų šito fenomeno komplikacijų, bet ji daugelyje atvejų atatinka žinomus faktus. Taigi, ar šiaip ar taip, reikia pripažinti, kad likučių fenomenai pareina nuo dielektriko laidumo kai kuriose jo vietose, esant heterogeninei struktūrai. Faktas yra, kad labai geri izoliatoriai, kaip oras ir kitos dujos, nerodo jokių likučių fenomenų, tuo tarpu blogi izoliatoriai, apie kuriuos galima manyti, kad jie visuomet yra heterogeninės struktūros, reiškia labai aiškiai tuos likučių fenomenus. Bet, antra vertus, Islandijos špatas, einant Rowlando ir Nicholso bandymais, nereiškia jokių likučių efektų, nepaisant to, kad Islandijos špatas yra anizotropinis kūnas, vadinasi, turįs heterogeninę struktūrą.

Mes jau matėme, kad elektrostatinė indukcija sudaro dielektrike retežius iš bipolinių molekulų arba dubletų ir tokiu būdu yra dielektrinės polarizacijos priežastimi. Taigi pripažįstant, kad dielektrikas turi žirninę struktūrą, tai yra susideda iš izolatoriaus, į kurį įterpta daugybė dalelių, kurios leidžia elektrą, galima suprasti dielektriko ypatingą reikšmę elektrostatikos fenomenams. Bet elektrostatinė indukcija veikia ir tuštumoje. Vadinasi, reikia ir eteriui pripažinti tam tikrą struktūrą, nes ir jame susidaro tas, ką mes vadiname elektriškas įtempimas arba dielektrinė polarizacija.

Prisilaikydami šito vaizdo retežių, sudarytų dubletais (žiūr. 102 pieš.), mes galime traktuoti elektrostatinę indukciją panašiai kaip buvo traktuojama magnetinė indukcija, žiūrint į dubletų galus kaipo į polius. Tai palengvina elektriško veikimo apskaitymą

dielektriko vidury bet kuriam taške. Pavadinsime liniją, jungiančią + ir — dubleto polius, elektriška ašimi. Visų dubletų ašys polarizuotoje būklėje sudaro kreivas linijas, kurios tęsiasi per visą dielektriką nuo vieno jo paviršiaus į kitą paviršių. Pavadinsime šitas linijas indukcijos linijomis. Aišku, kad tos indukcijos linijos prasideda ten, kur dielektrikas turi — įlydi (kur jis susisiekia su kondensatoriaus + plokštele) ir baigiasi ten, kur dielektrikas turi + įlydi (susisiekia sų kondensatoriaus — plokštele). Taigi tos indukcijos linijos sutampa su jėgų linijomis arba įtempimo linijomis, tik eina priešinga kriptimi ir todel silpnina kondensatoriaus plokštelių įlydžių veikimą, nes dalinai ten, kur kondensatoriaus plokštelė susisiekia su dielektriku, kondensatoriaus elektra bus surišta dielektriko elektra. Vadinasi, turint kondensatorių su dielektriku tenka skaitytis su vadinamu tikru kondensatoriaus įlydžiu iš vienos pusės (suteiktas kondensatoriui elektros kiekis) ir su laisvu kondensatoriaus įlydžiu iš antros.

Kalbėdami apie elekrostatinį veikimą dielektriko vidury mes galime identifikuoti veikimą išilgai indukcijos linijų su elektrostatine jėga F, kuri veikia išilgai jėgų linijų. Įsivaizduokim dabar dalį dielektriko pavidalu plono bet plataus skritulio skersai indukcijos linijų. Mes tada turėsime + elektros sluogsnį ant vieno to skritulio paviršiaus ir — elektros sluogsnį ant kito to skritulio paviršiaus. Taigi prie nurodytos elektrostatinės jėgos šituo atveju prisidės dar jėga, kuri pareina nuo tų dviejų elektros sluogsnių. Kadangi ta jėga veikia normaliai skritulio paviršiui ir visiškai taip, kaip tarp dviejų kondensatoriaus plokštelių, tai pažymėjus tankumą minėtų elektros sluogsnių raide D mes galime išreikšti šitą jėgą formula $4 \pi D$. Taigi visa jėga vidury plokščio plono skritulio susideda iš tų dviejų jėgų. Pavadinsime visą tą jėgą elektrostatine indukcija ir pažymėsime ją raide B. Tad mes galime išreikšti elektrostatinę indukciją dielektrike šitokia formula: $B = F + 4 \pi D$.

Įsivaizduokime toliau, kad dubleto perskirtos elektros sukoncentruotos to dubleto poliuose. Tad išoriniam to dubleto veikimui turi tokios pat reikšmės sandauga iš polio stiprumo ir atokumo tarp dviejų polių, kaip išoriniam magneto veikimui sandauga iš magneto polio stiprumo ir atokumo tarp dviejų magneto polių. Šita sandauga vadinasi magnetinis momentas. Taigi, kalbėdami apie veikimą dielektriškai polarizuotų dielektriko elementų atokume mes galime iš analogijos vartoti dydį, kuris vadinasi „elektriškas dubleto momentas“. Paimsime kubą briaunos 1 cm. ir perskirsime elektrą išilgai vienos to kubo briaunos, taip kad ant kubo šonų statmenai tai briaunai mes turėsime + ir — elektros polius stiprumo q. Kiekvieno tokio polio elektriškasai momentas bus q, o viso kubo elektriškasai momentas bus suma šitų atskirų momentų, t. y. Σq. Bet tai bus elektros įlydis ant kūbo šonų, ir kadangi plotas šono čia yra lygus 1 cm^2., tad tasai elektros įlydis bus elektros tankumas. Taigi, pavartotą anksčiau elektros tankumą D galime pakeisti elektrišku momentu tūrio vieneto, kuris vadinasi specifiniu elektrišku momentu. Tad dielektriko veikimas kiekybiškai bus išspręstas visais tais atvejais, kada galima bus apskaityti iš anksto specifinius elektriškus momentus, kurie susidaro elektros lauke izoliatoriaus vidury. Įsivaizduokim dielektriką pavidalu ilgo cilinderio, padėto elektros lauke, taip kad jo ašis sutampa su jėgų linijų kryptimi. Toksai cilinderis bus visur vienodai polarizuotas ir taip, kad visur jo elementų elektros ašys sutaps su jėgų linijų kryptimi. Taigi, tokiu atveju specifinis elektriškas momentas bus proporcingas elektrostatiškai jėgai, veikiančiai išilgai jėgų linijų, vadinasi $D = \varepsilon F$. Konstanta ε vadinasi elektrifikacijos konstanta.

Elektros jėgos, kurios veikia izolatoriaus vidury, yra dvigubos kilmės: iš vienos pusės izolatorius randasi tam tikram elektros lauke tarp elektriškai užtaisytų plokštelių, vadinasi, izolatorius perkirstas visur jėgų linijomis; iš antros pusės prie šitų jėgų prisideda tos jėgos, kurios pareina nuo elektros įlydžių ant izolatoriaus paviršių, kur izolatorius susisiekia su užtaisytomis plokštelėmis. Aišku, kad šitos pastarosios jėgos silpnina lauką dielektriko vidury. Tų dviejų jėgų veikimo išdavą mes turėsime tam tikrą padalijimą jėgų linijų elektros lauke. Išilgai tų jėgų linijų mes turėsime jėgą F. Antra vertus, išilgai kiekvienos jėgos linijos arba indukcijos linijos bus indukuotas elektriškasai momentas, taip kad jo ašis sutaps su jėgų linija. Todel mes ir turime santykį $D = \varepsilon F$ ir eidami tuo santykiu galime apskaityti specifinį elektrišką momentą. Duosime čia moufrlas tam specifiškam elektriškam momentui dviem paprasčiausiais atsitikimais. Die-

lektrikas, rutulio pavidalu, padėtas homogeniniam elektriškam lauke stiprumo, arba intensingumo, F, polarizuojasi vienodai ir jo specifinis elektriškasai momentas išreiškiamas šitokia formula.

$$D = \frac{\varepsilon}{1+{}^{4}/_{3}\pi\varepsilon} F.$$

Išmatavus traukos jėgą tarp rutulio iš dielektriko ir tarp užtaisyto laidininko, rutulio pavidalu, remiantis duota formula galima bus apskaityti elektrifikacijos konstanta E. Specifinis elektriškasai momentas dielektriko, plono skritulio pavidalu, padėto elektros lauke taip, kad jėgų linijos eina normaliai jo paviršiams, išreiškiamas šitokia formula:

$$D = \frac{\varepsilon}{1+4\pi\varepsilon} F.$$

Duosime čia dar santykius tarp tikro ir laisvo įlydžių ant konduktoriaus paviršiaus, kuris padėtas elektros lauke. Suteiksime kondensatoriaus kolektoriui+elektros kiekį q. Jeigu to kolektoriaus paviršius yra lygus S, tai elektros tankumas bus $\sigma = \frac{q}{S}$. Šituo atveju q vadinasi tikras kolektoriaus įlydis ir σ vadinasi tikras elektros tankumas. Bet izolatorius tarp kondensatoriaus plokštelių yra įtemptoje būklėje arba yra dielektriškai polarizuotas. Vadinasi, jis charakterizuojasi tam tikru elektrišku momentu D, skaitant ant tūrio vieneto. Vadinasi, iš pusės kolektoriaus ant izolatorio paviršiaus mes turime neigiamą elektros įlydį tankumo D. Taigi, išorinis kolektoriaus veikimas pareina dabar ne nuo suteikto jam elektros įlydžio q, bet nuo mažesnio įlydžio. Šitą mažesnį įlydį, nuo kurio pareina kolektoriaus veikimas, mes vadiname laisvu įlydžiu ir jo tankumą laisvu tankumu. Pažymėsime šitą laisvą tankumą raide σ^1. Tad mes turime santykį: $\sigma^1 = \sigma$ — D. Bet tokiu atveju elektros jėga F ant kolektoriaus paviršiaus yra lygi $4\pi\ \sigma^1 = F$. Taigi $D = \varepsilon F = 4\pi\varepsilon\sigma^1$. Imant visa tai galvon mes gausime šitokį santykį tikram ir laisvam tankumams: $\sigma = (1+4\pi\varepsilon)\ \sigma^1$.

Mes dabar galime nustatyti santykį tarp elektrifikacijos konstantos E ir dielektrinės kostantos K. Paimsime užtaisytą kondensatorių, kurio kolektorius turi potencialą V ir kurio kita plokštelė (vadinama kondensatorius) sujungta su žeme, vadinasi, turi potencialą nulį. Tegu atokumas tarp kondensatoriaus plokštelių yra lygus d. Tad jėga, veikianti mediume tarp plokštelių, yra lygi $\frac{V}{d}$. Antra vertus, ta jėga, kaip mes jau žinome, yra lygi $4\pi\ \sigma^1$, jeigu mes σ^1 pažymėsime laisvą kolektoriaus elektros tankumą. Bet iš duoto santykio tarp tikro ir laisvo kolektoriaus elektros tankumų, būtent $\sigma = (1+4\pi\varepsilon)\ \sigma^1$ išeina $\sigma^1 = \frac{\sigma}{1+4\pi\varepsilon}$. Taigi, elektrška jėga mediume tarp kondensatoriaus plokštelių yra lygi $\frac{4\pi\ \sigma}{1+4\pi\varepsilon} = \frac{V}{d}$. Bet $\sigma = \frac{q}{S}$. Taigi mes turime: $\frac{4\pi.\ q}{S(1+4\pi\ \varepsilon)} = \frac{V}{d}$, iš to išeina $q = \frac{VS}{4\pi\ d}\ (1+4\pi\ \varepsilon)$. Kadangi suteiktas kondensatoriui elektros įlydis q yra lygus sandaugai iš kondensatoriaus talpumo ir jo potencialo, tad išeina, kad kondensatoriaus talpumas yra lygus $(1+4\pi\ \varepsilon)\ \frac{S}{4\pi\ d}$. Sulyginant šitą formulą kondensatoriaus talpumui su šitame paragrafe anksčiau duota formula, būtent $K\ \frac{S}{4\pi\ d}$, kur K reiškia dielektrinę konstantą, mes gausime: $K = 1+4\pi\ \varepsilon$. Šita lygtis nustato santykį tarp mediumo dielektrinės konstantos K ir elektrifikacijos konstantos ε. Taigi mes čia turime pilną analogiją tarp magnetinės medžiagos magnetinio pralaidumo μ ir izoliatoriaus dielektrinės konstantos K iš vienos pusės ir tarp magnetinės medžiagos magnetinio įspūdingumo arba magnetinimo konstantos k ir elektrinimo konstantos ε iš antros pusės, nes, kaip jau mes matėme šito skyriaus 1 §, $\mu = 1+4\pi k$.

Iš lygties:

$$q = (1 + 4\pi\varepsilon)\frac{S}{4\pi d}\cdot V = K\frac{S}{4\pi d}V \text{ išeina } KV = \frac{q}{S}\cdot 4\pi d = 4\pi d\sigma.$$

Šita paskutinė formula nustato santykį tarp tikro elektros tankumo σ kondensatoriaus kolektoriaus ir jo potencialio V, kada kita kondensatoriaus plokštelė sujungta su žeme.

Iš anksčiau duoto santykio tarp elektrostatinės indukcijos B ir elektros jėgos F, būtent, $B = F + 4\pi D$, pakeitę čionai D lygiu jam dydžiu εF mes gausime:

$$B = F + 4\pi\varepsilon F = (1 + 4\pi\varepsilon)F = KF.$$

Iš to turime $K = \frac{B}{F}$. Taigi, mes galime apibrėžti dielektrinę konstantą K kaipo santykį tarp elektrostatinės indukcijos ir veikiamosios elektros jėgos. Iš čia mes turime pilną analogiją tarp magnetinės indukcijos ir magnetinio lauko stiprumo, nes magnetinis pralaidumas μ yra lygus santykiui tarp magnetinės indukcijos B ir lauko stiprumo H ($\mu = \frac{B}{H}$).

Pagaliau, iš formulos $\sigma = (1 + 4\pi\varepsilon)\sigma^1 = K\sigma^1$ turime $K = \frac{\sigma}{\sigma^1}$. Vadinasi, mediumo dielektrinę konstantą K galima apibrėžti kaipo santykį tarp tikro elektros tankumo σ ir laisvo elektros tankumo σ^1 (čia kalbama apie elektros tankumą kondensatoriaus kolektoriaus). Aišku, kad ir vienu ir antru atveju dielektrinė konstanta K yra santykis dviejų tos pačios rūšies dydžių, vadinasi, yra dydis nulinių išmierų. Taigi tas dydis $K = L^0 M^0 T^0$ (čia ženklas L reiškia ilgį, M — masę ir T— laiką absoliutinės matų sistemos).

Iš viso to, kas čia pasakyta apie dielektrinę konstantą K, aišku, kad matuojant elektriškus veikimus tarp užtaisytų kondensatorių įvairiuose mediumuose arba nustatant tos pačios formos ir to paties didumo kondensatorių talpumus su įvairiais dielektrikais mes galime nustatyti tik santykį tarp dielektrinių konstantų įvairiems mediumams. Kaip mes žinome elektriškasai veikimas reiškiasi ir tuštumoje arba eteryje. Vadinasi, ir eteryje reiškiasi elektriškasai įtempimas arba dielektrinė polarizacija. Taigi, ir eteriui reikia priskirti tam tikra dielektrinė konstanta. Jeigu galima būtų tiesioginiu būdu išmatuoti eterio dielektrinę konstantą, tai mes galėtumėm nustatyti absoliutinės vertės įvairių mediumų (dielektrikų) dielektrinei konstantai. Bet iš tikrųjų mums nežinoma eterio dielektrinė konstanta ir todel, kaip jau anksčiau pasakyta, mes laikome eterio dielektrinę konstantą vienetu ir, eidami tuo vienetu, nustatome relatyves vertes dielektrinei konstantai įvairių mediumų.

Tiesioginiais matavimais galima nustatyti oro dielektrinė konstanta. Pasirodo, kad ji labai maža skiriasi nuo vieneto. Dalykas tas, kad oro dielektrinė konstanta pareina nuo jo tankumo ir kyla augant tam tankumui. Pažymėsime oro dielektrinę konstantą prie slėgimo 1 atmosferos formula $1 + k$, tad prie slėgimo b cm. gyvojo sidabro stulpo oro dielektrinė konstanta bus $1 + k, \frac{b}{76}$. Taigi sulygindami oro kondensatoriaus talpumus prie įvairių spaudimų mes surasime k. Pasirodo, kad $k = 0{,}0006$. Vadinasi, oro dielektrinė konstanta $K = 1{,}0006$. Taigi praktikoje ir oro dielektrinė konstanta laikoma vienetu ir, kaip jau mes matėme, oro kondensatoriaus talpumas išreiškiamas formula $C = \frac{S}{4\pi d}$ tokia pat, kaip ir kondensatoriaus talpumas tuštumoje. Todel laboratorijos praktikoje kondensatorių talpumai nustatomi visuomet sulyginant tuos talpumus su tos pačios formos ir to paties didumo oro kondensatoriaus talpumu ir jau iš to sulyginimo apskaitoma relatyvė vertė dielektrinės konstantos įvairiems mediumams.

Del dielektrinės konstantos charakteristikos atkreipsime čia dar dėmesio į santykį tarp dielektrinės konstantos K ir mediumo šviesos lūžimo koeficiento n. Fizikos paskaitų „Šviesos skyriuje“ (VI Skyrius, 15 §) įrodyta, kad $K = n^2$. Priimdami anksčiau išdėstytą teoriją dielektrinės polarizacijos mes galime sutikti, kad kiekvienas izolatorius arba dielektrikas susideda iš molekulų, kurios leidžia elektrą, bet kurios įterptos į mediumą,

kuris nepraleidžia elektros, taip kad elektra negali pereiti per tarpus tarp molekulų. Tokiomis sąlygomis molekulos dielektriko, įterpto tarp dviejų priešingai užtaisytų konduktorių, įgyja+ir - puolius ir orientuojasi taisyklingais retežiais (dubletų teorija). Taigi užpildant tarpą tarp dviejų kondensatoriaus plokštelių tuo ar kitu dielektriku efektas bus tas pats kaip ir padalijant tame tarpe tam tikrą skaičių rutuliukų, kurie yra elektros laidininkai. Suteikiant kondensatoriui elektros, tie rutuliukai per indukciją irgi elektrizuojasi, suriša dalį suteiktos kondensatoriui elektros ir tokiu būdu didina jo talpumą. Aišku, kad tasai talpumo padidinimas pareina nuo santykio tarp tūrio, kurį užima visi dielektriko rutuliukai (arba dielektriko molekulos), ir viso tūrio, kurį užima dielektrikas. Pažymėsime šitą santykį raide x. Pasirodo, kad tarp dielektriko dielektrinės konstantos K ir šito dydžio x veikia santykis:

$$K = \frac{1 + 2x}{1 - x}.$$

Iš šitos formulos turime:

$$X = \frac{K - 1}{K + 2}.$$

Pažymėsime dielektriko tankumą raide d. Tad jo lyginamasai (specifinis) tūris arba, kitaip sakant, tūris, užimtas vieno gramo medžiagos, bus $\frac{1}{d}$. Bet šitas medžiagos tūris susideda iš molekulų ir tarpų tarp jų. Kadangi molekulos užima x-tąją dalį viso tūrio, tai pačių molekulų 1 gramo medžiagos užimtas tūris bus $\frac{x}{d}$. Šitas tūris yra charakteringa medžiagai konstanta, kuri nepareina nei nuo temperatūros nei nuo spaudimo. Pažymėsime šitą konstantą $R = \frac{x}{d}$. Žinant, kad $x = \frac{K - 1}{K + 2}$, mes gausime šitai konstantai formulą:

$$R = \frac{1}{d} \frac{K - 1}{K + 2}.$$

Taigi šitas reiškinys nepareina nei nuo spaudimo nei nuo temperatūros. Pakeitus čionai K lygiu jam dydžiu n^2 mes gausime:

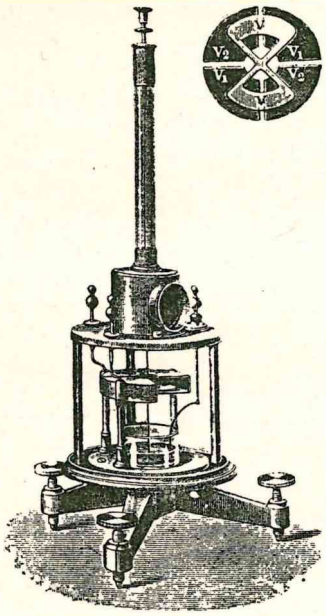
$$R = \frac{1}{d} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}.$$

Tai yra formula lyginamojo arba specifinio lūžimo koeficiento. Bandymai rodo, kad plačiose ribose temperatūros ir spaudimo šitas lyginamasai medžiagos lūžimo koeficientas yra pastovus dydis.

8 §. Elektros potencialų matavimai. Thomsono kvadrantų elektrometras. Talpumo ir dielektrinės konstantos matavimai.

Šitame paragrafe aprašysime metodus potencialams ir talpumams matuoti. Potencialams matuoti galima pasinaudoti elektroskopu su vienu lapeliu ir su škala, kuris aprašytas 3 § (žiūr. 37 pieš.). Reikia tiktai graduoti to elektroskopo škala. Daroma tai tokiu būdu, kad elektroskopui suteikiama įvairūs žinomi potencialai, pradedant nuo nulinio potencialo, ir registruojami lapelio atsilenkimai ant škalos Atidedant ant abscisos potencialus, o ordinatomis atatinkamus tiems potencialams lapelio atsilenkimus ir jungiant ordinatų galus gaunama tos ar kitos formos kreiva linija, remiantis kuria interpolacijos keliu galima apskaityti potencialas, kuris atatinka bet kuriam lapelio atsilenkimui. Graduotas tokiu būdu elektroskopas vadinasi elektrometras. Bet reikia pasakyti, kad šitas metodas netikslus ir turint tokį elektrometrą reikia dažnai tikrinti jis, t. y. iš naujo nustatinėti kreiva linija, kuri duoda santykių tarp potencialų ir lapelio atsilenkimų.

Paminėsime čia dar lordo Kelvino metodą potencialams matuoti, kuris remiasi traukos jėga, veikiančia tarp dviejų kondensatoriaus plokštelių. Šita jėga, kaip jau mes žinome, yra lygi: $\frac{K V^2 S}{8 \pi d^2} = \frac{2 \pi q^2}{K S}$. Cia V reiškia kondensatoriaus potencialą, q—jo įlydį, S—jo kolektoriaus paviršių ir d—atokumą tarp dviejų kondensatoriaus plokštelių. Ta kondensatoriaus plokštelė, kuri sujungiama su žeme, nustatoma judomai, pakabinus ją gulsčioje būklėje ant vieno peties tikslių ir jautrių svarstyklių naščių. Kita kondensatoriaus plokštelė, būtent, kolektorius, padedama nejudomai apačioje pirmosios plokštelės ir lygiagrečiai jai. Užtaisius kondensatorių, jo viršutinė plokštelė bus pritraukta prie apatinės ir, vadinasi, svarstyklių naščiai išeis iš pusiausvyros būklės. Kad pusiausvyra būtų atstatyta, reikės ant kitos tos naščių lėkštės uždėti tam tikras svoris. Taigi, šitas svoris, sakysime p gramų, bus lygus traukos jėgai $\frac{K V^2 S}{8 \pi d^2} = \frac{2 \pi q^2}{K S}$. Iš nustatyto tokiu būdu santykio galima apskaityti arba kondensatoriaus potencialų skirtumą V arba jo įlydį q. Bet ir šitas metodas nėra pakankamai tikslus todel, kad kondensatoriaus elektros tankumas nėra vienodas visur ir, aplamai, yra žymiai didesnis arti nuo kondensatoriaus krantų, kaip kondensatoriaus vidury. Kada kondensatoriaus plokštelės randasi tam tikram atokume viena nuo antros, šitas krantų veikimas turi įtakos jėgai, veikiančiai kondensatoriaus vidury, ir tokiomis sąlygomis nebegalima jau taikyti duotos formulos traukos jėgai tarp kondensatoriaus plokštelių. Lordas Kelvinas ištobulino šitą vadinamą disko elektrometrą, padaręs tik vidurį viršutinės kondensatoriaus plokštelės judomą, taip kad būtų matuojama traukos jėga tik tarp vidurinių dalių abiejų kondensatoriaus plokštelių. Bet ir taip ištobulintas aparatas nėra pakankamai jautrus.



105 pieš.

Visų jautriausias ir dažniausiai vartojamas aparatas potencialų skirtumams matuoti yra lordo Kelvino (Williamo Thomsono) konstruotas, vadinamas kvadrantų elektrometras. 105 piešinys atvaizduoja šitą aparatą. Keturi tušti misinginiai kvadrantai (plokščios nedidelės misinginės dėžutės, trikampinių prizmų pavidalu) padėti nejudamai gulsčioje būklėje ant šulų iš stiklo arba iš gintaro del izolacijos. Tie šulai kietai sujungti su metaliniu aparato pagrindu, kuris padėtas ant trikojo su sraigtais. Šitais sraigtais galima suteikti aparato pagrindui gulsčios būklės. Taigi, keturi kvadrantai sudaro plokščią tuščią cilinderį su dviem siaurais tarpais išilgai dviejų cilinderio diametrų statmenai vienas antram (žiūr. 105 pieš. viršuje, kur keturi kvadrantai pažymėti raidėmis V_1 V_1 ir V_2 V_2). 105 piešinys rodo tik 3 izolacijos šulus ir 3 kvadrantus. Ketvirtasai izolacijos šulas su jo kvadrantu neparodyti, kad galima būtų matyti kvadrantų dėžės vidurį. Tam vidury, neliečiant kvadrantų, kaba ant plono siūlo iš kvarco arba iš fosforo bronzos lengva metalinė plokštelė, dažniausiai iš aluminijo, biskvito arba cifros 8 pavidalu, kaip rodo 105 piešinys iš viršaus, kur ta plokštelė, vadinama elektrometro adata ir pažymėta raidėmis VV, parodyta apačioje kvadrantų viršutinių plokšmių. Pakabinimo siūlas randasi stiklo vamzdyje, kuris iš viršaus užvožtas cilindriniu dangteliu. Per viršutinę to dangtelio plokšmę eina metalinis stiebas su galvele. Prie apatinio to stiebo galo prijungtas siūlas, ant kurio kaba elektrometro adata. Šitas stiebas galima įstumti į stiklo vamzdį giliau ir tokiu būdu nuleisti žemyn elektrometro adatą taip, kad ji atsiremtų į kvadrantų apatines plokšmes. Tai daroma tais atvejais, kada elektrometras nevartojamas. Rengiantis matuoti, tas pats stiebas galima atsargiai patraukti augštyn ir tokiu būdu suteikti elektrometro adatai tokios būklės, kad ji laisvai

galėtų svyruoti kvadrantų dėžėje. Be to, sukant stiebą už galvelės į vieną ir į antrą pusę galima suteikti elektrometro adatai tokios būklės, kad ji svyruotų simetriškai kvadrantų atžvilgiu, kitaip sakant, kvadrantų plyšių atžvilgiu. Prie pakabinimo siūlo viršuj adatos iš viršaus kvadrantų prijungtas plokščias veidrodėlis, kad galima būtų sekti adatos svyravimai Gauso metodu su pagalba žiūrono ir škalos, kaip aprašyta „Fizikos paskaitų" VI skyriaus 2 §, 21. puslp. Kvadrantų apačioje, ant aparato bazės, randasi nedidelė stiklinė, į kurią įpiliama stiprios sieros rūgšties ligi tam tikro bruožo, įbrėžto ant stiklo. Nuo apačios adatos eina plona platinos viela,[1]) kurios apatinis galas įeina į sieros rūgštį. Į šitą aparato dalį reikia žiūrėti kaipo į Leydeno bonką, kurios išvidinis pamušalas yra sieros rūgšties visas paviršius, kuriuo ta sieros rūkštis randasi kontakte su stiklo paviršiumi, o išoriniu pamušalu tai bonkai yra staniolės lapas, užlipdytas ant elektrometro pagrindo, ant kurio stovi stiklinė su sieros rūgštimi. Šita aparato dalis reikalinga tam, kad galima būtų užtaisyti elektriškai ligi tam tikro potencialo V elektrometro adata. 105 piešiny viršuj kvadrantų ant viršutinės aparato plokšmės iš dešinės pusės parodytas laidininkas rutuliuko pavidalu su sraigtu. Tasai rutuliukas randasi ant galo metalinio stiebo, kuris izoliuotai prakištas pro apskritą skylę viršutinėje aparato plokšmėje su pagalba movos iš gintaro. Prie apatinio šito stiebo galo prijungta užlenkta lanku platinos viela. Stumiant šitą stiebą žemyn, platinos vielos galas įeis į sieros rūgštį. Jeigu dabar sujungtume rutuliuką ant viršutinio stiebo galo su + konduktorium elektros mašinos, tai išvidiniam Leydeno bonkos pamušalui galima suteikti tam tikras kiekis + elektros, kuris per indukciją sudarys tokį pat kiekį — elektros ant išorinio bonkos pamušalo, vadinasi, ant staniolės lapo, ant kurio stovi stiklo cilinderis. Staniolės lapo + elektra nueis čia į žemę. Vadinasi, tokiu būdu mes užtaisysime bonką ligi tam tikro potencialo V ir kadangi bonka metališkai sujungta su elektrometro adata, tai ir adata bus užtaisyta ligi to paties potencialo. Kadangi bonkos talpumas yra labai didelis sulyginti su adatos talpumu, tai adatos potencialas bus pastovus dydis net ir tada, kada šiek tiek keisis tos adatos įlydis.

Dažnai, kad būtų užtaisyta bonka ir adata, pakanka iš elektroforo disko suteikti stiebo rutuliukui 2 — 3 kibirkštėles. Pagaliau Thomsonas aprūpino savo aparatą mažute elektroforine mašinėle (šitos mašinėlės 105 piešiny nematyti), su kurios pagalba galima suteikti bonkai ir adatai mažesnis arba didesnis potencialas. Šita mašinėlė vadinasi replenišeris. Užtaisius tuo ar kitu būdu bonką ir adatą, stiftas patraukiamas augštyn, platinos vielos galas išeina iš sieros rūgšties ir tokiu būdu bonka ir adata atjungiami nuo elektros šaltinio.

Diametringai priešingi kvadrantai sujungti (kryžmais) plonomis vielomis, sakysime, kvadrantai V_1 V_1 sujungti tarp savęs ir kvadrantai V_2 V_2 tarp savęs. Kiekvienas kvadrantų poris sujungtas su metaliniu stiftu, kuris izoliuotai prakištas per viršutinę aparato plokšmę ir baigiasi viršuj tos plokšmės rutuliukais su sraigtais, kaip rodo 105 piešinys viršuje iš kairės pusės. Taigi vieną iš tų rutuliukų galima sujungti plona viela su vienu elektriškai užtaisytu laidininku, o antrą su antruoju. Tada vienas kvadrantų poris turės tokį potencialą kaip vienas užtaisytas laidininkas, sakysime, potencialą V_2, o antras kvadrantų poris turės kito laidininko potencialą, sakysime V_1. Dažniausiai vienas kvadrantų poris sujungiama su žeme, taip kad to porio potencialas yra lygus 0, tuo tarpu antras kvadrantų poris, sujungtas su užtaisytu laidininku, turi to laidininko potencialą V_2. Vidurinė aparato dalis tarp pagrindo plokšmės ir viršutinės plokšmės randasi arba stiklo dėžėje (cilinderio formos) arba metalinėje dėžėje, kad būtų apgintas aparato vidurys nuo oro dulkių. Stipri sieros rūgštis apgina orą aparato vidury nuo drėgnumo. Oras aparato vidury turi būti švarus ir sausas, kad izolacija būtų kuo geriausia, kad atliekant matavimus nebūtų elektros nuostolių nei ant kvadrantų, nei ant adatos. Be to, kad būtų apsaugotas aparatas nuo įtakos įvairių išorinių kūnų, kurie gali būti įelektrinami, aparato dėžė turi būti sujungta su žeme plona viela, prijungiant vieną tos vielos galą tam tikru sraigtu prie dėžės, o antrą prie vandentiekio arba dujų vamzdžio.

[1]) Dažnai prie šitos vielos galo prijungiama lengva platinos plokštelė, kuri grimsta sieros rūgštyje ir reikalinga tam, kad slopintų adatos švytavimus.

Ruošiant aparatą matavimams reikia jis visiškai išlydyti, sujungiant abudu kvadrantų porius ir adatą su žeme su pagalba trijų sraigtų viršuj aparato viršutinės plokšmės. Nedidelė cilindrinė dėžutė tarp aparato stiklo vamzdžio ir viršutinės jo plokšmės dažniausiai iš ebonito, su langeliu, matomu iš dešinės pusės, padeda atmesti šviesos spindulį į veidrodį per langelį ir gauti atmuštą spindulį žiūrone, kuriame bus matomas tam tikras skalos padalijimas. Kada aparatas visiškai išlydytas, adata privalo svyruoti visiškai simetriškai atžvilgiu abiejų kvadrantų plyšių ir, parimus, privalo nusistatyti savo ašimi išilgai vieno arba antro plyšio. Jeigu to nėra, tai reikia veikti stiftu, prie kurio prijungta pakabinimo viela, ir atsargiai sukant tą stiftą į vieną ar į antrą pusę, suteikti elektrometro adatai mūsų nurodytą pusiausvyros arba nulinė būklė. Pasiekus tokią būklę vienas poris kvadrantų, sakysime V_1 V_1, sujungiamas su žeme, o antras poris V_2 V_2 sujungiamas su laidininku, kurio potencialas skiriasi nuo žemės potencialo. Pagaliau, aukščiau aprašytu būdu suteikiamas tam tikras potencialas V adatai (sakysime, teigiamas potencialas). Tokiomis sąlygomis adata slinks ta prasme, kad jos įlydis patektų į žemiausią potencialo sritį (nes + įlydis visuomet slenka nuo augštesnio į žemesnį potencialą). Taigi, jeigu laidininkas, prie kurio prijungtas vienas poris kvadrantų, turi teigiamą potencialą, tai elektrometro adata atsilenks į pusę to porio kvadrantų, kurie sujungti su žeme. Jeigu laidininkas turi neigiamą potencialą, tai adata atsilenks į pusę sujungtų su laidininku kvadrantų. Sakysime, kad vielos sukamasai momentas, kuris susidaro atsilenkiant adatai ir užsukant tokiu būdu vielą, yra tiek didelis, kad adatos atsilenkimas visuomet yra sulyginti mažas. Tokiomis sąlygomis adatos atsilenkimo kampas yra proporcingas potencialų skirtumui tarp dviejų kvadrantų porių, kaip bus tuojau įrodyta, Bet tokiomis sąlygomis tam tikrose atsilenkimo ribose adatos atsilenkimas yra tiesioginiu būdu proporcingas jos potencialui. Vadinasi, keičiant Leydeno bonkos įlydį galima tam tikrose ribose mažinti arba didinti elektrometro jautrumas.

Duosime dabar kvadrantų elektrometro teoriją. Tegu vienam kvadrantų poriui suteiktas potencialas V_2, o antram potencialas V_1 ir tegu adatai suteiktas potencialas V. Sutiksime, kad $V_2 > V_1$. Tada adata slenka į pusę kvadrantų V_1 V_1 ir ji bus pusiausvyros būklėje tik tada, kada elektros jėgų sukamasai momentas bus kompensuotas sukamuoju momentu užsuktos pakabinimo vielos. Jeigu užtaisius kvadrantus ir adatą jie bus izoliuojami (vadinasi, bus atjungiami nuo elektros šaltinių), tai adatos judėjimas, kuriam reikia išeikvoti tam tikras darbas, mažintų visos sistemos elektrišką energiją. Skirtumas potencialų izoliuotų įlydžių tokiomis sąlygomis mažės ir mes turėsime pusiausvyros būklę tada, kada elektros energijos sumažėjimas, surištas su mažu adatos atsilenkimu, bus lygus tam darbui, kuris reikalingas atatinkamai padidinti vielos užsukimui. Bet, jeigu kvadrantai nebus izoliuoti, vadinasi, pasiliks prijungti vielomis prie užtaisytų laidininkų, tai jų potencialai visą laiką bus tie patys (jeigu oras aparato dėžėje švarus ir sausas, tai ir potencialą bonkos ir adatos irgi galima laikyti pastoviu, atjungus bonką nuo elektros šaltinio). Tokiomis sąlygomis adatos judėjimas didins visos sistemos elektrišką energiją, nes adatos plotas, kuris randasi kvadrantų V_1 V_1 apačioje, slenkant adatai į tą pusę didės, vadinasi, didės ir + elektros įlydis ant adatos tų kvadrantų apačioje. Todel mes turėsime elektros energijos padidėjimą, nes ta energija, kaip mes žinome, yra lygi pusei sandaugos iš potencialų skirtumo ir įlydžio. Tą energijos perteklių duos kaip tik tie šaltiniai, kuriais palaikomi pastovūs kvadrantų potencialai. Šitas energijos perteklius iš vienos pusės didins sistemos elektrišką energiją, o iš antros stiprins pakabinimo vielos užsukimą.

Kad apskaitytume energijos atmainas sistemoje, kurią sudaro elektrometro kvadrantai ir adata, pasiremsime šia teorema: „Jeigu sistema laidininkų turi pastovius potencialus, kurie palaikomi tam tikrais elektros ištekliais, tai visa energija, reikalinga tam, kad būtų pakeista relatyvė šitų laidininkų padėtis, yra dusyk didesnė, kaip šitos laidininkų sistemos elektros energijos priaugimas, surištas su relatyvių laidininkų pastūmimu“.

Norėdami įrodyti šitą teoremą, sutiksime, kad mes turime įlydžius Q_1, Q_2, Q_3... pastovių potencialų V_1, V_2, V_3... Tad visa šitos sistemos energija yra

$$W = \frac{Q_1 V_1}{2} + \frac{Q_2 V_2}{2} + \frac{Q_3 V_3}{2} + \cdots$$

Tegu relatyvė padėtis sistemos dalių pasikeis taip, kad įlydžiai pasidarys lygūs iš eilės $Q_1 + q_1$, $Q_2 + q_2$, $Q_3 + q_3 \cdots$ Dabar visos sistemos energija bus didesnė, būtent

$$W + w = \frac{(Q_1 + q_1)}{2} V_1 + \frac{(Q_2 + q_2)}{2} V_2 + \cdots$$

Taigi energijos priaugimas bus lygus:

$$w = \frac{q_1 V_1}{2} + \frac{q_2 V_2}{2} + \cdots$$

$$\text{arba } 2w = q_1 V_1 + q_2 V_2 + \cdots$$

Kadangi įlydžiai q_1, q_2... gauti iš elektros išteklių nuolatinių potencialų V_1, V_2..., tai visa energija, paimta iš šitų išteklių, yra lygi $q_1 V_1 + q_2 V_2 + \cdots$ arba, imant galvon paskutinę lygtį, ji yra lygi sistemos elektros energijos priaugimui, paėmus šitą priaugimą dusyk.

Taikydami šitą teoremą kvadrantų elektrometrui, mes turėsime štai ką. Pastovių potencialų elektros šaltiniai, su kuriais sujungti kvadrantai ir adata, suteikia elektrometro sistemai dusyk daugiau energijos kaip reikalinga elektrometro elektros sistemai. Taigi, iš pradžios, kada pakabinimo siūlo sukamasai poris yra mažas, elektrometro sistema gauna perteklių energijos, bet sukamasai poris didėja ir pagaliau pasiekiama pusiausvyros būklė, kada atsilenkiant adatai kvadrantų atžvilgiu nedideliu kampu užsukimo energijos padidėjimas kompensuojamas elektros energijos padidėjimu.

Mes dabar galime apskaityti šitą elektros energijos priaugimą, pripažinę, kad adatos judėjimas neliečia elektros padalijimo ant išorinių adatos krantų ir išilgai kvadrantų padalijimo linijų. Bet tai galima pripažinti tik tada, kada linijinis adatos kranto atsilenkimas yra mažas sulyginti su to kranto atokumu nuo to kvadranto, nuo kurio adata tolinasi. Tokiomis sąlygomis adatos atsilenkimas mažu kampu $d\vartheta$ išeina ant to paties kaip paprastas perkėlimas adatos dalies iš būklės $V_2 V_2$ į būklę $V_1 V_1$ (žiūr. 105 pieš.). Šitos adatos dalies talpumą mes galime pripažinti proporcingu atsilenkimo kampui $d\vartheta$, vadinasi, pripažinti talpumą lygiu $Cd\vartheta$ (juo didesniu kampu atsilenks adata, juo didesnė dalis jos ploto bus perkelta iš būklės $V_2 V_2$ į būklę $V_1 V_1$). Taigi įlydis kvadrantų $V_1 V_1$ padidės per $Cd\vartheta(V - V_1)$, tuo tarpu įlydis kvadrantų $V_2 V_2$ sumažės per $Cd\vartheta(V - V_2)$. Čia $V - V_1$ ir $V - V_2$ reiškia potencialų skirtumą tarp kvadrantų įlydžių ir adatos įlydžio. Imant galvon, kad sistemos elektriška energija yra lygi pusei sandaugos iš elektros įlydžio į potencialą arba pusei sandaugos iš elektros talpumo į potencialo kvadratą, mūsų nurodytomis sąlygomis elektrometro sistemos elektros energijos priaugimas bus lygus:

$$\frac{Cd\vartheta}{2}\left\{(V - V_1)^2 - (V - V_2)^2\right\} = Cd\vartheta\,(V_2 - V_1)\left(V - \frac{V_1 + V_2}{2}\right).$$

Surištas su šituo adatos mažu atsilenkimu siūlo užsukimo energijos priaugimas yra lygus $l\vartheta d\vartheta$. Čia ϑ reiškia visą atsilenkimo kampą, skaitant nuo 0, o $l\vartheta$ reiškia atatinkamą sukamąjį porį.

Taigi esant pusiausvyrai tarp siūlo elastingo sukamojo porio ir elektros jėgų sukamojo porio mes turime:

$$l\vartheta d\vartheta = Cd\vartheta\,(V_2 - V_1)\left(V - \frac{V_1 + V_2}{2}\right)$$

arba $\vartheta = \frac{C}{l}(V_2 - V_1)\left(V - \frac{V_1+V_2}{2}\right)$. Tai ir yra pagrindinė kvadrantų elektrometro formula.

Kada adatos potencialas V yra didelis sulyginti su kvadrantų potencialais V_1 ir V_2, tada narys $\frac{V_1+V_2}{2}$ skliaustuose galima atmesti ir mes gausime tokią formulą:

$$\vartheta = \frac{C}{l}V(V_2 - V_1).$$

Kai kuriais atvejais elektrometro adata ir vienas kvadrantų poris sujungiami su tuo pačiu nuolatinio potencialo elektros ištekliu, tuo tarpu antras kitas kvadrantų poris sujungiamas su žeme. Tada $V_1=0$ ir $V=V_2$ ir mes gausime šitokią formulą: $\vartheta = \frac{CV^2}{2l}$.

Turint tokį sujungimą kvadrantų elektrometrą galima vartoti matavimui kintančio potencialo, nes ϑ paskutinėje formuloje nepareina nuo ženklo V. Tokiais atvejais kvadranto elektrometras vadinasi dažnai elektrostatiškas voltmetras ir su jo pagalba nustatomas vidutiniškas potencialas kvadrate.

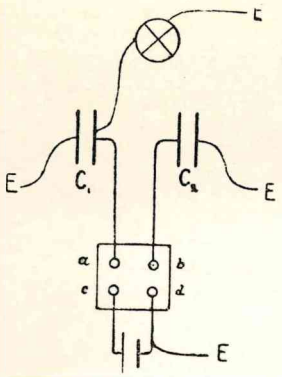
Ar mes vartosime vieną ar antrą sujungimo būdą, reikia žinoti kvadrantų elektrometro konstanta, kad iš atsilenkimo kampo galima būtų atskaityti potencialų skirtumas. Iš pirmos formulos $\vartheta = \frac{C}{l} V(V_2 - V_1)$ išeina $V_2 - V_1 = \frac{1}{CV}\vartheta = B\vartheta$, jeigu mes elektrometro konstantą pažymėsime raide B $\left(B = \frac{1}{CV}\right)$. Norėdami surasti šitą konstantą, turime sujungti vieną porį kvadrantų su vienu elektros ištekliu žinomo potencialo, o antra su antruoju, arba kvadrantų porius sujungti su poliais normalaus elemento, kurio potencialų skirtumas yra žinomas ir pastovus dydis (apie elementus bus kalba kitame paragrafe). Tegu, sujungus tokiu būdu kvadrantų elektrometrą su normaliu elementu, adatos atsilenkimas bus lygus α. Tad iš formulos $V_2 - V_1 = B\alpha$ mes gausime $B = \frac{V_2 - V_1}{\alpha}$, kaipo instrumeto konstantą arba redukcijos veiksnį. Galime pavartoti žinomus potencialų skirtumus įvairių didumų (sakysime, paimti sujungus iš eilės du, tris ir daugiau normalių elementų). Tada atidėdami ant abscisos adatos atsilenkimus, o ordinatomis atatinkamus tiems atsilenkimams potencialų skirtumus ir jungdami ordinatų galus linijomis mes gausime charakteringą instrumentui kreivą liniją, kuri rodo, kaip pareina atsilenkimai nuo potencialų ir kuri leidžia apskaityti instrumento konstantą bet kuriam atsilenkimui, jeigu pasirodytų, kad nėra proporcingumo tarp potencialų skirtumų ir atsilenkimų.

Aprašytas čia instrumentas vartojamas ne tik potencialams matuoti, bet ir elektros talpumams tokiais atvejais, kada šitą talpumą negalima apskaityti einant žinomomis mums formulomis. Schemą vieno iš paprasčiausių metodų talpumams dviejų kondensatorių sulyginti atvaizduoja 106 piešinys. Mes čia turime du kondensatorius talpumų C_1 ir C_2. Ratukas su kryžium reiškia čia kvadrantų elektrometrą, kurio dėžė prijungta prie žemės. Elektrometro adata užtaisyta ligi tam tikro potencialo, vienas jo kvadrantų poris sujungtas su žeme, o antras sujungtas su kondensatoriaus C_1 kolektorium. Antroji to kondensatoriaus plokštelė, lygiai kaip ir atatinkamoji antrojo kondensatoriaus plokštelė, irgi prijungti prie žemės. Apačioje piešinio dviem bruožais parodyta batareja kaipo elektros išteklis. Vienas batarejos polis prijungtas prie žemės, o antras prijungtas viela prie taško C vadinamo komutatoriaus. Šitas komutatorius yra ne kas kita, kaip medinė arba kartoninė dėžutė, pripildyta parafino, kuriame išgręžtos keturios duobeles a, b, c, d. Tos duobelės pripildytos gyvojo sidabro. Su pagalba plonos vielos lankelių mes galime, reikalui esant, sujungti duobeles a ir c ir b ir d arba a ir d ir c ir b. Taigi, sujungsime viela vieną batarejos polį su c ir kondensatoriaus C_1 kolektorių su a, kaip rodo 106 pie-

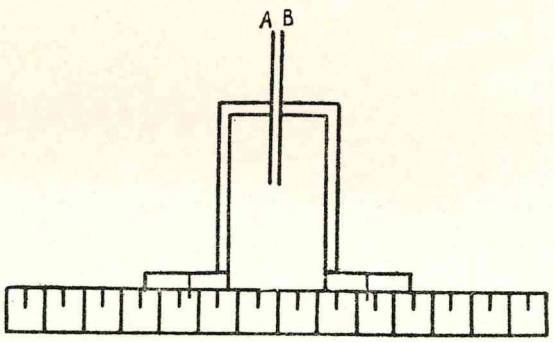
šinys. Sujungę c ir a metaliniu lankeliu, mes suteiksime kondensatoriui C_1 tam tikrą elektros kiekį Q ir tam tikrą potencialą V_1, taip kad $V_1 = \frac{Q}{C_1}$. Kondensatoriaus C_2 kolektorius sujungtas viela su duobele b. Taigi išėmus metalinį lankelį iš duobelių a ir c ir idėjus ją į duobeles a ir b mes sujungsime kolektorius abiejų kondensatorių, tuo tarpu jų kitos plokštelės prijungtos prie žemės, kaip rodo 106 piešinys. Tokiomis sąlygomis suteiktos pirmajam kondensatoriui elektros įlydis Q pasidalys tarp abiejų kondensatorių ir jų potencialai išsilygins. Tegu, pasidalijant elektros įlydžiui, q elektros vienetų nuteka nuo pirmojo kondensatoriaus į antrąjį. Tuo būdu pirmojo kondensatoriaus potencialas bus pažemintas nuo V_1, sakysime, ligi, V_2, kuris bus bendras abiejų kondensatorių potencialas. Taigi

$$V_1 - V_2 = \frac{q}{C_1} \text{ ir } V_2 = \frac{q}{C_2}, \text{ iš to: } C_1 (V_1 - V_2) = C_2 V_2 \text{ arba } \frac{C_1}{C_2} = \frac{V_2}{V_1 - V_2}.$$

Taigi išmatavę kvadrantų elektrometru potencialą V_1, kada tik pirmasai kondensatorius prijungtas prie elektrometro, ir potencialą V_2, kada antrasai kondensatorius sujungtas su pirmuoju, mes, remdamiesi šitais daviniais, galėsime apskaityti santykį abiejų



106 pieš.



107 pieš.

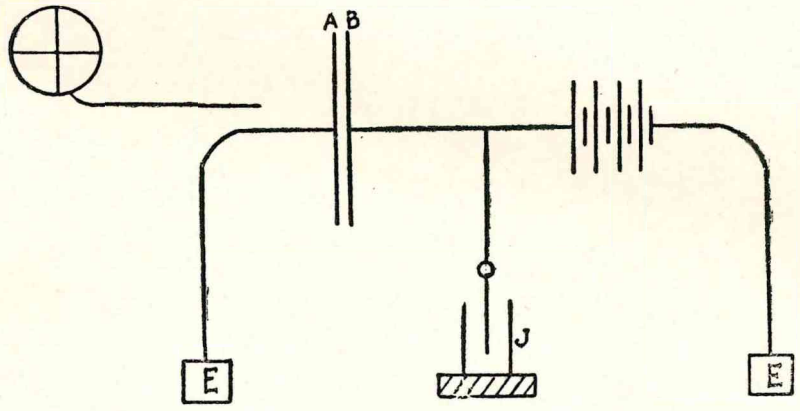
kondensatorių talpumų. Jeigu vieno kondensatoriaus talpumas yra žinomas arba gali būti apskaitytas einant talpumo formula, tai tokiu būdu bus surastas ir talpumas kito kondensatoriaus. Kadangi potencialai santykiuoja kaip elektrometro adatos atsilenkimai, tai mes turime:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}, \text{ iš to: } \frac{V_2}{V_1 - V_2} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1 - \vartheta_2} = \frac{C_1}{C_2}.$$

Vadinasi, matuodami talpumus mes galime potencialų santykį pakeisti santykiu atsilenkimų.

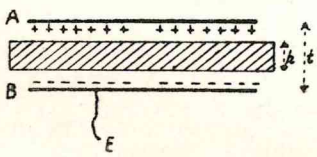
Aprašysime čionai dar vieną metodą talpumams sulyginti, kuris sudaro aprašyto metodo variantą. Tai yra vadinamas šliaužiamojo kondensatoriaus metodas. 107 piešinys atvaizduoja škalą su smulkiais padalijimais, ant kurios ant štatyvų padėtos dvi plokšmės A ir B plokščio kondensatoriaus, kurio talpumas galima apskaityti einant formula $\frac{S}{4\pi d}$. Štatyvai gali šliaužti ant škalos ir tokiu būdu galima keisti atokumas d tarp kondensatoriaus plokšmių A ir B ir, vadinasi, kada reikia, didinti arba mažinti šito kondensatoriaus talpumas. Smulkius štatyvų judėjimus galime atlikti su pagalba mikrometrinio sraigto. Tegu mums reikia išmatuoti Leydeno bonkos talpumas. Pasinaudosime schema, kurią atvaizduoja 108 piešinys. Čia kolektorius B plokščio kondensatoriaus AB ir išvidinis pamušalas Leydeno bonkos I prijungti prie + polio batarejos.

Batarejos—polis, išorinis Leydeno bonkos pamušalas ir plokščio kondensatoriaus plokšmė A sujungti su žeme. Iš kairės piešinio pusės viršuj nupieštas ratukas su kryžium. Tai reiškia kvadrantų elektrometrą, su kuriuo galima sujungti kondensatoriaus AB plokšmė A. Kaip rodo schema plokščio kondensatoriaus plokšmė B ir išvidinis Leydeno bonkos pamušalas bus užtaisyti teigiamai, tuo tarpu plokščio kondensatoriaus plokšmė A ir išorinis Leydeno bonkos pamušalas bus užtaisyti neigiamai. Potencialas plokščio kondensatoriaus ir Leydeno bonkos bus tas pats. Atjungsime dabar batareją nuo kondensatoriaus



108 pieš.

ir Leydeno bonkos, izoliuosime plokšmę A ir išorinį pamušalą Leydeno bonkos, ir sujungsime plokšmę A su išvidiniu Leydeno bonkos pamušalu ir plokšmę B su išoriniu pamušalu. Sakysime, kad įlydžiai plokščio kondensatoriaus ir Leydeno bonkos buvo lygūs. Tad sujungus taip, kaip čia pasakyta, tie įlydžiai visiškai neutralizuos vienas antrą ir todel prijungus plokšmę A prie kvadrantų elektrometro, jokio elektrometro adatos atsilenkimo nebus. Taip bus tik tada, kada plokščio kondensatoriaus ir Leydeno bonkos talpumai yra lygūs. Bet, jeigu Leydeno bonkos talpumas didesnis, tad sujungus taip, kaip augščiau pasakyta, ne visas bonkos išvidinio pamušalo teigiamas įlydis bus neutralizuotas — įlydžiu nuo A. Vadinasi, dalis + įlydžio pasiliks neneutralizuota ir pasidalys tarp A ir išvidinio bonkos pamušalo. Taigi A bus užtaisytas teigiamai ir prijungus A prie elektrometro, adata atsilenks. Priešingai, plokšmė A taps užtaisyta neigiamai, jeigu bonkos talpumas mažesnis kaip plokščio kondensatoriaus talpumas. Taigi, reikia keisti atokumas tarp plokšmių A ir B, vadinasi, didinti arba mažinti plokščio kondensatoriaus AB talpumas, kol, sujungus taip, kaip pasakyta anksčiau, išlydžiai kondensatoriaus AB ir bonkos I visiškai neutralizuos vienas antrą. Mes spręsime apie tai šį to, kad prijungus A prie elektrometro nebus adatos atsilenkimo. Aišku, kad tai bus tik tada, kada plokščio kondensatoriaus ir Leydeno bonkos talpumai pasidarys lygūs. O talpumą plokščio kondensatoriaus mes galime apskaityti, taigi žinosime ir Leydeno bonkos talpumą. Aišku, kad šituo metodu galima surasti talpumas bet kurios formos kondensatoriaus. Reikia tik neužmiršti, kad čia mes turime darbo su likučių efektu, kuris komplikuoja dalyką.



109 pieš.

Suradus santykį dviejų kondensatorių talpumų tos pačios formos ir to paties didumo, bet su įvairiais dielektrikais, šitas santykis duos mums dielektrinių konstantų santykį. Jeigu vienas iš kondensatorių su oru, tai mes gausime relatyvę dielektrinės konstantos vertę, priėmus orui dielektrinę konstantą vienetu. Taigi, tokiu būdu ir nustatoma dielektrinė konstanta įvairiai medžiagai, vartojant ją dielektriku kondensatoriui. Aprašysime čia smulkiau tik kiek suprastintą metodą kietų kūnų dielektrinei konstantai nustatyti. Tai yra metodas plokščiai paralėlės plokštelės

Tegu A bus izoliuota plokščio kondensatoriaus plokštelė (kolektorius), užtaisyta + elektra, ir B sujungta su žeme plokštelė, užtaisyta—elektra (žiūr. 109 pieš.). Tegu atokumas tarp plokštelių A ir B bus d ir tegu tarp tų plokštelių iš pradžios randasi oras. Įkišime dabar tarp tų plokštelių skritulį arba diską iš dielektriko, kurio dielektrinė konstanta reikia surasti Tegu šito skritulio storumas bus h. Talpumas plokščio kondensatoriaus be disko ir dielektriko yra lygus $\frac{S}{4\pi d}$ (čia S reiškia plokštelės-kolektoriaus plotą). Tegu elektros tankumas ant kondensatoriaus plokštelių bus σ. Tad $S.\sigma$ yra + elektros įlydis ant plokštelės A. Taigi skirtumas potencialų tarp plokštelių A ir B bus

$$S.\sigma : \frac{S}{4\pi d} = 4\pi\sigma d.$$

Bet skirtumas potencialų tarp plokštelių A ir B yra lygus jėgai, veikiančiai įlydžio vienetą, padauginus į atokumą tarp plokštelių. Taigi, pažymėję šitą jėgą raide F, mes turėsime $F \times d = 4\pi\sigma d$ arba $F = 4\pi\sigma$. Toki jėga veikia vakuume ir ore. Bet medžiume dielektrinės konstantos K ta jėga yra $\frac{4\pi\sigma}{K}$. Taigi nuvarant + elektros vienetą per dielektriko skritulį į pusę kondensatoriaus+plokštelės reiks atlikti darbas $\frac{4\pi\sigma}{K} \cdot h$ ergų. Kadangi oro protarpis tarp skritulio iš dielektriko ir kondensatoriaus plokštelių yra lygus $d - h$, tad, kad nuvarytume + elektros vienetą per šitą oro protarpį į pusę teigiamos kondensatoriaus plokštelės, reikės atlikti darbas $4\pi\sigma(d-h)$. Taigi, visas darbas, kuris reiks atlikti tokiomis sąlygomis nuvarant+elektros vienetą nuo —kondensatoriaus plokštelės ligi + plokštelės bus:

$$\frac{4\pi\sigma}{K} h + 4\pi\sigma(d-h) = 4\pi\sigma\left(d - h + \frac{h}{K}\right).$$

Bet šitas darbas yra ne kas kita, kaip potencialų skirtumas tarp kondensatoriaus plokštelių, kada kondensatoriaus įlydis yra lygus $S\sigma$. Taigi tokio kondensatoriaus talpumas (su skrituliu, įkištu tarp jo plokštelių) bus:

$$C = \frac{S\sigma}{4\pi\sigma\left(d - h + \frac{h}{K}\right)} = \frac{S}{4\pi\left[d - \left(h - \frac{h}{K}\right)\right]}.$$

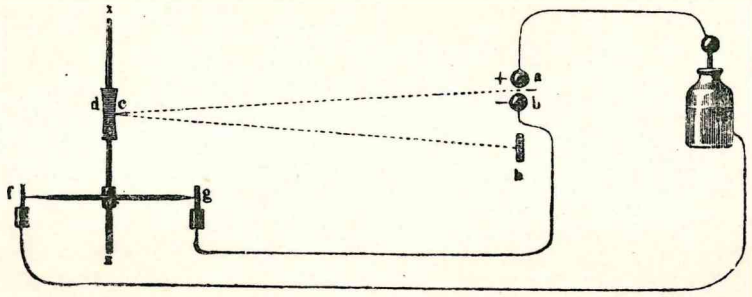
Taigi, įkišus skritulį iš dielektriko, kondensatoriaus talpumas pasikeitė nuo $\frac{S}{4\pi d}$ ligi dydžio, duoto paskutine formula. Iš šitos formulos aišku, kad tokią pat talpumo atmaina galima gauti, jeigu priartinsime plokštelę B prie plokštelės A per $h - \frac{h}{K}$ cm., užuot kišę tarp tų plokštelių skritulį iš dielektriko.

Eidami šita išvada mes gauname tokį metodą dielektrinei konstantai K išmatuoti. Sujungsime kondensatorių su elektrometru ir atskaitysime adatos atsilenkimą, kada tarp kondensatoriaus plokštelių randasi skritulys iš dielektriko. Ištraukus šitą skritulį adatos atsilenkimas bus didesnis. Plokštelė B artinama dabar prie plokštelės A, kol mes gausime tokį pat atsilenkimą, kaip buvo tada, kada tarp kondensatoriaus plokštelių buvo įterptas skritulys iš dielektriko. Vadinasi, vartojant šitą metodą reikia turėti šliaužiamasis kondensatorius (žiūr. 107 pieš.). Tegu, kad gautume tą patį adatos atsilenkimą, reikės priartinti plokštelė B prie plokštelės A per 1 cm. Tad 1 bus lygus $h - \frac{h}{K}$, iš to: $\frac{1}{h} = 1 - \frac{1}{K}$ arba $K = \frac{h}{h-1}$. Tai yra vienas iš paprasčiausių metodų kietų kūnų dielektrinei konstantai surasti.

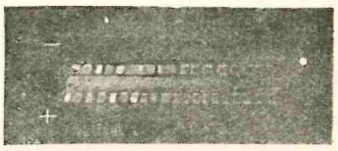
9 §. Kibirkštis. Jos tęsinys (išlydžio tęsinys). Kibirkšties periodiškumas. Elektros oscilacijos. Elektros išlydžio sklidimo greitumas. Išlydžio energija. Kibirkšties šviesa. Šviesos spurgai ir rusėjimo šviesa. Lichtenbergo figūros. Lullino bandymas. Chemiški kibirkšties veikimai.

Pasipažinsime dabar arčiau su ta elektros išlydžio forma, kurią mes vadiname elektros kibirkščia. Greitai sukdami ratą mes jo stipinų nematysime. Bet jeigu tamsiam kambary greitai sukamas ratas bus elektros kibirkščia nušviestas, tai mes aiškiai pamatysime jo stipinus, ir mums atrodys, kad ratas nesisuka. Vandens srovė, kibirkščia nušviesta, atrodo kaip sustingusi. Tai reiškia, kad elektros išlydis kibirkšties pavidalu tęsiasi labai trumpą laiką. Anglų fizikas Wheatstone'as pirmutinis (1856 metais) pamėgino išmatuoti elektros kibirkšties tęsinį. Wheatstone'as sekė kibirkšties vaizdą greitai sukamame plokščiame veidrodyje. Jeigu kibirkštis tęstųsi tik akimirką, tai greitai sukamame veidrodyje mes pamatytumėm šviesią liniją. Bet iš tikrųjų Wheatstone'as pastebėjo, kad kibirkšties vaizdas veidrodyje buvo maždaug ištemptas juostos pavidalu. Išmatavęs šitos juostos platumą ir žinodamas, kiek sūkių per sekundą daro veidrodis, Wheatstone'as apskaitė kampą, kuriuo pasisukė veidrodis per tą laiką, kurį tęsėsi kibirkštis, o iš šito kampo, žinodamas veidrodžio greitumą, jis apskaitė kibirkšties tęsinį ir gavo kibirkštims, sudarytoms įvairiomis sąlygomis, tęsinį nuo vienos penkiasdešimt milijoninės dalies sekundos ligi vienos milijoninės dalies sekundos.

Kiek vėliau, būtent 1862 metais, Danijos fizikas Feddersenas atkartojo Wheatstone'o bandymą, pavartojęs vietoj plokščio veidrodžio greitai sukamą (ligi 800 sūkių per sekundą) gaubtą veidrodį. Gaubtas veidrodis duoda kibirkšties realų vaizdą. Kaipo ekranu tam vaizdui galima pasinaudoti jautria fotografine plokštele ir tokiu būdu gauti kibirkšties fotografija. 110 piešinys atvaizduoja schematiškai Fedderseno metodą. Leydeno bonkos išvidinis pamušalas sujungtas su rutuliuku A, o išorinis jos pamušalas per laidininką gf su rutuliuku b. Išlydinant bonką kibirkštys šoka tarp rutuliukų a ir b. Kibirkšties šviesą atmuša abipus gaubtas veidrodis dc, kuris duoda kibirkšties realų vaizdą ant fotografinės plokštelės h. Veidrodis dc greitai sukamas apie ašį xx. Kartu su ta ašimi sukasi skersas metališkas stiebas fg, kuris, kaip rodo schema, tam tikroj padėty savo aštriais galais paliečia metališkus stulpelius f ir g, iš kurių f sujungtas viela su išoriniu bonkos pamušalu, o g su rutuliuku b. Taigi, Feddersenas laukė, kad kibirkšties vaizdas ant fotografinės plokštelės atrodys kaip ištempta juosta. Bet Feddersenas, gavęs negatyvą, pastebėjo ne vieną ištemptą juostą, bet eilę juostelių su tarpais tarp jų, kaip rodo 111 piešinys. Taigi išeina, kad tai, ką mes paprasta akimi matome kaipo vieną kibirkštį, iš tikrųjų susideda iš visos eilės kibirkščių, kurios seka viena kitą su tam tikrais laikotarpiais tarp jų, vis labiau ir labiau silpnėdamos. 111 piešiny tamsūs bruožai reiškia kibirkštis, šviesūs tarpai tarp tų bruožų reiškia laikotarpius tarp



110 pieš.



111 pieš.

dviejų eilinių kibirkščių, kada nėra šviesos ant fotografinės plokštelės, nes, kaip jau pasakyta, mes čia turime negatyvą. Dar prieš Feddersenų kai kurių fizikų buvo pareikšta nuomonė, kad kiekviena elektros kibirkštis susideda iš visos eilės kibirkščių. Buvo manoma, kad, sakysime, Leydeno bonkos išlydis įvyksta ne iš sykio, bet vyksta porcijomis ir visuomet ta pačia prasme, pritekant elektrai nuosakiai iš dielektriko į bonkos pamušalus. Šitoki pažiūra atatiktų žinomiems mums likučių efektams, bet Feddersenas įrodė, kad šita pažiūra yra visiškai klaidinga ir nieko bendra neturi su likučių efektais, kurių teorija išdėstyta 7 §. Atkreipsime dėmesį į kibirkšties fotografiją, negatyvą (111 piešinys). Tamsūs bruožai, kaip jau pasakyta, atatinka parcijalinėms kibirkštims. Bet tų tamsių bruožų vienas galas tamsesnis, antras šviesesnis. Tamsesnė vieta ant negatyvo reiškia tokią vietą, kurią paveikė smarkesnė šviesa. Antra vertus, kibirkšties šviesos nagrinėjimai rodo, kad kibirkštis yra ypatingai skaidri ten, kur ji prasideda nuo + laidininko, vienu žodžiu, ten, kur mes turime + elektros išlydį, o iš pusės — elektros išlydžio (iš pusės — laidinininko) kibirkštis šviečia silpniau. Taigi, tamsesnės dalys bruožų ant kibirkšties negatyvo reiškia + elektros išlydį ir šviesesnės dalys bruožų — elektros išlydį. Imant tai galvon išeina, kad nuo pamušalų Leydeno bonkos tuo pačiu laiku veržiasi + elektra į iškroviklio lanką (arba, aplamai, jungiančio pamušalus laidininko lanką) iš vienos pusės ir — elektra iš antros pusės. Tos dvi elektros arba tie du įlydžiai ne tik neutralizuoja vienas antrą, bet peršoka, taip sakant, pusiausvyros būklę (neutralę būklę), taip kad — elektra pasiekia tą bonkos pamušalą, kuris buvo iš pradžios užtaisytas teigiamai ir užtaiso šitą pamušalą neigiamai, tuomet kaip + elektra pasiekia tą pamušalą, kuris iš pradžios buvo užtaisytas neigiamai, ir užtaiso dabar tą pamušalą teigiamai. Taigi, peršokus pirmajai parcijalinei kibirkščiai, bonkos pamušalai bus užtaisyti priešingai, kaip buvo iš pradžios, ir todel antra jau kiek silpnesnė parcijalinė kibirkštis šoks dabar priešinga kryptimi kaip pirma kibirkštis ir vėl abidvi elektros peršoks, taip sakant, pusiausvyros būklę ir užtaisys abudu bonkos pamušalus vėl taip, kaip jie buvo užtaisyti iš pradžios. Taigi trečia parcijalinė kibirkštis, silpnesnė kaip antra, šoks dabar ta pačia prasme kaip pirmoji kibirkštis, ketvirta kibirkštis šoks kaip antra, penkta kaip pirma ir t. t., kol visa bonkos įlydžio potencinė energija bus išsklaidyta šilimos, garso pavidalu ir t. t.. Kibirkšties negatyvas, kurį atvaizduoja 111 piešinys, aiškiai rodo tokį periodinį išlydį. Čia 1, 3, 5, ir t. t. bruožai turi tamsesnius viršutinius galus ir šviesesnius apatinius galus. Vadinasi, šitose kibirkštyse + elektros judėjimas prasideda, sakysime, nuo išvidinio bonkos pamušalo, o — elektros judėjimas prasideda nuo išorinio bonkos pamušalo. Antras, ketvirtas, šeštas ir t. t. bruožai turi tamsesnius apatinius galus ir šviesesnius viršutinius, vadinasi, šitose kibirkštyse + elektros judėjimas eina nuo išorinio bonkos pamušalo, o — elektra nuo išvidinio pamušalo. Taigi užtaisytos Leydeno bonkos ir, aplamai, užtaisyto kondensatoriaus išlydis vyksta elektros vibracijomis arba oscilacijomis, nelyginant kaip išlyginimas vandens lygmių susisiekimo inde įvyksta vandens masių svyravimais. Įsivaizduokime U formos vamzdį didesnio diametro ir su pakankamai ilgomis šakomis. Tegu tas vamzdis per vidurį sulenktos dalies užkimštas kamščiu, prijungtu prie vielos, kurios galas išsikiša iš vienos U-vamzdžio šakos. Pripildysime vieną šito vamzdžio šaką vandeniu ligi krantų ir paėmę išsikišusį iš kitos U - vamzdžio šakos vielos galą staiga ištrauksime kamštį. Vandens masė iš pirmos U - vamzdžio šakos mesis į antrąją šaką ir, del įgytos kinetinės energijos, peršoks pusiausvyros būklę, taip kad antroje šakoje vandens lygmė bus augštesnė kaip pirmoje. Bet dabar del potencinės energijos vandens masė slinks iš antrosios šakos į pirmąją ir vėl peršoks pusiausvyros buklę, taip kad vandens lygmė pirmoje šakoje bus augščiau kaip antroje ir t. t., vienu žodžiu, vandens masė atliks eilę svyravimų, kol bus pasiekta pusiausvyros būklė, kol vanduo abiejose U - vamzdžio šakose bus tam pačiam augštyje. Šitų vandens svyravymų amplitūda nuosakiai mažėja, skirtumas tarp vandens lygmių vienoje ir antroje U - vamzdžio šakoje darosi vis mažesnis ir mažesnis ir, pagaliau, visiškai išnyksta. Taigi, mes čia turime darbo su slopinamais svyravimais. Užtaisytos Leydeno bonkos potencialų skirtumas išsilygina panašiu būdu, būtent, elektros vibracijomis arba elektros oscilacijomis. Tos oscilacijos slopinamos. Slopinimas čia pareina nuo to, kad kiek-

viena oscilacija yra surišta su išsklaidymu tam tikros dalies potencinės energijos šilimos pavidalu.

Sitas oscilatoriškas kondensatoriaus išlydis, kurį įrodė bandymais Feddersenas, buvo jau anksčiau Williamo Thomsono 1853 metais numatytas ir Kirchhofo 1857 metais, ir W. Thomsonas davė net formulą tų oscilacijų periodui, eidamas fizine švytuoklės formula: $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{D}}$, kurioje T reiškia svyravimų arba oscilacijų periodą, I — fizinės švytuoklės inercijos momentą ir D—kreipiamąją oscilacijų jėgą (santykį tarp sukamojo porio ir atsilenkimo kampo, paimto radianais). Mes vėliau pasipažinsime su vadinama saviindukcija, kurią galime laikyti lyg elektros inercijos pasireiškimu, ir galėsime įrodyti, kad vadinamas laidininkų saviindukcijos koeficientas atatinka fizinės švytuoklės inercijos momentą. Pažymėsime šitą laidininko saviindukciją raide L (L yra laidininko ilgio ir jo diametro funkcija). Antra vertus, kreipiamajai jėgai D atatinka elektros lauko stiprumas, kuris pareina, kaip jau mes žinome, nuo dielektriko ir yra K sykių mažesnis dielektrike kaip ore. Vadinasi, elektriška kreipiamoji jėga yra atvirkščiai proporcinga dielektrinei konstantai ir todel atvirkščiai proporcinga kondensatoriaus talpumui, nes kondensatoriaus talpumas C, caeteris paribus, yra tiesioginiu būdu proporcingas dielektrinei konstantai. Taigi, fizinės švytuoklės formuloje galima pakeisti I per L ir D per $\frac{1}{C}$. Tada mes gauname tokią formulą periodui elektriškų oscilacijų: $T = 2\pi\sqrt{LC}$ (Thomsono žinoma formula). Mes vėliau pamatysime, kad šita formula kartu su Fedderseno ir Wheatstone'o bandymais žymiai prisidėjo prie elektromagnetinių bangų teorijos patvirtinimo.

Duosime čia keletą skaičių, liečiančių oscilacijų periodą T, kurį Feddersenas nustatė matavimais su pagalba greitai sukamo veidrodžio, paėmus batareją iš 10 Leydeno bonkų ir imant laidininko lanką įvairių ilgių, bet visuomet to paties diametro 1,35 mm.:

Ilgis laidininko lanko metrais	T milijoninėmis sekundos dalimis
5,26	1,32
25,26	4,10
65,26	7,53
317	17,7
1343	39,8

Situos skaičius Feddersenas surado atmesdamas su pagalba greitai sukamo gaubto veidrodžio kibirkšties vaizdą ant fotografinės plokštelės, apskaitydamas laiką visai kibirkščiai ir jau iš skaičiaus parcijalinių kibirkščių ir tarpų tarp jų apskaitydamas oscilacijos periodą (vienos parcijalinės kibirkšties tęsinį).

Pažymėsime amplitūdą pirmos oscilacijos raide A_0 ir oscilacijų periodą raide T. Tad oscilacijų amplitūda laiku t, skaitydami nuo oscilacijų pradžios, bus

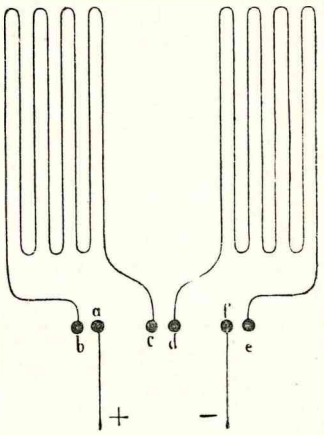
$$A = A_0 . \; e^{-kT} \cos \pi \frac{t}{T} .$$

Čia e reiškia natūralinių logaritmų bazę, o e^{-kT} slopinimą, kuris yra lygus

$$\frac{A_1}{A_0} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{A_3}{A_2} \ldots$$

Paminėsime čia dar, kad tais pačiais laikais Wheatstone'as mėgino išmatuoti greitumą, kuriuo skleidžiasi elektros išlydis laidininkuose. 112 piešinys atvaizduoja schematiškai Wheatstone'o aparatūrą. Čia + reiškia išvidinį Leydeno bonkos pamušalą ir — jos

išorinį pamušalą. Išvidinis pamušalas buvo prijungtas prie rutuliuko a, o išorinis prie rutuliuko f. Be to, tas išorinis pamušalas buvo sujungtas su žeme. Ties rutuliukais a ir f buvo dar padėti rutuliukai b ir e, o tarp rutuliukų a ir f buvo dar padėti arti vienas nuo antro rutuliukai c ir d. Schema rodo, kaip tie rutuliukai buvo sujungti ilgomis vielomis, vartojant tas vielas špulių pavidalu, ant kurių jos buvo užvyniotos daugybe izoliuotų vingių. Mes čia turime iš viso 6 rutuliukus ir 3 oro tarpus tarp jų. Visi tie rutuliukai buvo padėti taip, kad tarpai tarp jų buvo ant tos pačios linijos. Taigi, išlydydami Leydeno bonką, mes čia gausime tris kibirkštis, kurios, žiūrint paprasta akimi, bus ant tos pačios linijos. Bet Wheatstone'as sekė tų kibirkščių vaizdą greitai sukamame plokščiame veidrodyje ir konstatavo, kad vidurinė kibirkštis tarp rutuliukų c ir d buvo pasistūmusi atžvilgiu kraštutinių dviejų kibirkščių, kurios buvo ant tos pačios linijos, kaip rodo 113 piešinys. Pasistūmimas vidurinės kibirkšties ėjo arba žemyn arba augštyn. Tas priklausė nuo to, kuria kryptimi buvo sukamas veidrodis. Vadinasi, abidvi kibirkštys arti nuo Leydeno bonkos pamušalų pasirodė tuo pačiu laiku, o vidurinė kibirkštis, kurios įlydžiai turėjo pasiekti rutuliukus c ir d per ilgus laidininkus iš vienos ir iš antros pusės, pasirodė kiek vėliau. Žinodamas veidrodžio greitumą ir išmatavęs vidurinės kibirkšties pasistūmimą, Wheatstone'as apskaitė jos pasivėlavimo laiką. Žinodamas vielos ilgį nuo b ligi c iš vienos pusės ir nuo e ligi d iš antros pusės jis galėjo apskaityti greitumą, kuriuo skleidžiasi elektros išlydis vieloje. Wheatstone'as gavo skaičius įvairiomis sąlygomis nuo 100.000 kilometrų per sekundą ligi 240.000 kilometrų per sekundą. Taigi, šitie greitumai artinasi prie šviesos greitumų, ir turint galvoj, kad šviesa skleidžiasi erdvėje bangomis, šitie Wheatstone'o matavimai, tarytum,aiškiai rodė, kad potencialų skirtumas, reikalingas kibirkščiai susidaryti, skleidžiasi vieloje bangos pavidalu, kitaip sakant, kad visas išlydžio procesas yra ne kas kita, kaip judėjimas elektros bangomis.



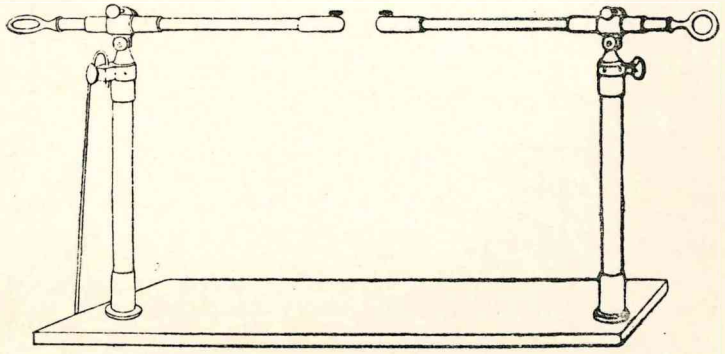
112 pieš.

113 pieš.

Tegu kondensatorius užtaisytas elektros įlydžiu Q ligi potencialo V. Tad jo energija yra lygi $\frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$, nes $V = \frac{Q}{C}$ (čia C reiškia kondensatoriaus talpumą). Išlydant kondensatorių per lanką, sudarytą iš laidininkų, šita energija išnyksta, o vietoj jos atsiranda šilima. Jeigu į metalinį lanką, kuris jungia kondensatoriaus pamušalus, bus įterpta plona geležinė viela, tai gali atsitikti, kad išlydant kondensatorių, ta viela taip bus įkaitinta, kad ji ne tik švies, bet ir perdegs. Tam tikrais aparatais galima išmatuoti tas šilimos kiekis, kuris išlydant kondensatorių atsiranda toje ar kitoje metalinio lanko dalyje, kada tas lankas sudarytas iš įvairių metalų. Matavimai rodo, kad tasai šilimos kiekis yra proporcingas kvadratui įlydžio ir, be to, proporcingas tam tikrai konstantai, kuri yra charakteringa metalui ir kuri vadinasi metalo elektros varža. Dalykas tas, kad metalai nevienodai lengvai praleidžia elektrą, vieni geriau, kiti blogiau, ir todel mes kalbame apie metalų pasipriešinimą elektros judėjimui arba apie jų elektros varžą.

Išlydant elektrą per izolatorių mes turime darbo su vadinamos elektrostrikcijos reiškiniais. Kad demonstruotume elektrostrikciją, pasinaudosime elektros iškrovikliu, kurį atvaizduoja 114 piešinys. Tai yra Henley'o iškroviklis. Ant lentos mes čia turime du stiklo arba kito kokio izolatoriaus stiebus, pastatytus vertikaliai. Viršuj tu stiebų randasi apskritos movos su sraigtais. Pro tas movas prakišti du metaliniai stiebai gulsčioje būklėje, taip kad tų metalinių stiebų galus galime daugiau ar mažiau priartinti vienas prie antro, stumdami juos į vieną ar į antrą pusę movose. Ant šitų stiebų

galų randasi irgi dvi cilindrinės movos su sraigtais, į kurias galime įdėti įvairios formos konduktorius. Įdėsime į vieną iš tų cilindrinių movų konduktorių smaigalio pavidalu ir sujungsime šitą gulsčią stiebą su teigiamu pamušalu Leydeno batarejos. Į cilindrinę antro gulsčio stiebo movą įdėsime konduktorių rutulio pavidalu ir sujungsime šitą stiebą su žeme. Tarp smailgalio ir rutulio padėsime stiklo plokštelę ir pastumsime gulsčius stiebus jų movose tiek, kad smailgalis ir rutulys paliestų stiklo plokštelę. Kad išvengtume elektros išsklaidymo ant stiklo paviršiaus, turime aptraukti smailgalio aštrumą šelaku arba alyva. Išlydant Leydeno batareją per tokią stiklo plokštelę ji bus pramušta ir priešingos elektros susijungs per kanalą stikle. Nereikia vienok manyti, kad mes čia turime grynai mechanišką veikimą, kad čia stiklas pramušamas elektriškų jėgų spaudimu, nelyginant kaip mechanišku spaudimu. Dalykas tas, kad stiklas įtakoje įlydžių, kurie randasi iš dviejų jo pusių, yra intensingos dielektrinės polarizacijos būklėje, taip kad stiklo būklė skiriasi nuo būklės, kurią galima sudaryti tik mechanišku spaudimu. O dielektrinė polarizacija sudaro stiklui ypatingą deformaciją, kurią mes ir vadiname elektrostrikcija. Šita deformacija yra panaši į elastingą deformaciją, sudaromą mechaniškais spaudimais ir tempimais, bet skiriasi tuo, kad mechaniškais spaudimais ir tempimais sudaryti dielektrinės polarizacijos ir, vadinasi, sudaryti elektros būklės riboje tarp konduktorių ir dielektrikų, aplamai, negalima, išėmus tik kai kuriuos atsitikimus. Reikia vienok pasakyti, kad dielektrinė konstanta pareina nuo spaudimo ir tempimo, kurių įtakoje randasi dielektrikas. Taigi, dielektrinės polarizacijos būklė yra surišta su tais išvidiniais spaudimais ir tempimais izolatoriuje, kurie pareina nuo augščiau nurodytų dielektrinės konstantos atmainų.



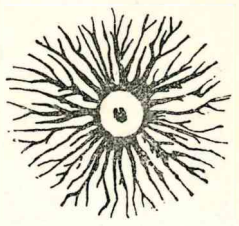
114 pieš.

Sąryšy su elektrostrikcija paminėsime čia trumpai piroelektros ir piezoelektros fenomenus. Kai kurie kristalai, kurie paprastai elektros atžvilgiu būna normalėje būklėje, jeigu vienodai šildomi, rodo elektrifikaciją priešingų ženklų ant diametriškai priešingų paviršių. Jeigu tokius kristalus vėsinsime, tai ant diametriškai priešingų jų paviršių irgi pasirodys priešingų ženklų įlydžiai, tiktai adverniškai: vadinasi, kur šildant buvo + elektra, dabar pasirodo — elektra, ir atbulai. Šitas fenomenas vadinasi piroelektra ir pirmą sykį jis buvo pastebėtas XVIII šimtmetyje. Spaudžiant tokius kristalus išilgai tos ašies, išilgai kurios buvo pastebėtas elektros persiskyrimas šildant, ant ašies galų irgi pasirodo elektros priešingų ženklų. Tempiant tokius kristalus išilgai tos pačios ašies polaringumas apsiverčia. Vadinasi, ant to ašies galo, kur spaudžiant buvo + elektra, dabar pasirodo — elektra, ir atbulai. Šitas fenomenas žinomas kaipo piezoelektra ir jis buvo atrastas brolių Curie 1886 metais. Jiedu konstatavo, kad elektrifikacija kristalų spaudimu yra to paties ženklo kaip ir elektrifikacija kristalų vėsinimu, tuo tarpu elektrifikacija tempimu yra to paties ženklo kaip ir elektrifikacija kaitinimu.

Trumpai paminėti čia fenomenai, be abejo, yra surišti su tomis ypatingomis elektros deformacijomis, kurias mes vadiname elektrostrikcijomis ir kurios pareina nuo dielektrinės polarizacijos. Šituos fenomenus rodo tik tokie kristalai, kurie turi nesimetriškai orientuotas hemiedriškas plokštumas. Vadinasi, ant tokių kristalų ašių galų mes turime skirtingas plokštumas, taip kad tie kristalai nesimetriški plokštumos atžvilgiu, ištiestos statmenai ašiai per ašies vidurį. Turmalinas, kalnų krikštolas, ledas yra tokių kristalų pavyzdžiai.

Pasipažinsime dabar su kai kuriais bandymais, kurie aiškiai rodo skirtumą tarp teigiamo ir neigiamo elektros išlydžių. Pasinaudosime vėl Henley'o iškrovikliu (žiūr. 114 pieš.). Įdėsime į gulsčių stiebų cilindrines movas smailgalius ir padėsime tarp tų smailgalių paprastą kortą taip, kad ji iš abiejų pusių būtų paliesta smailgaliais. Be to, vieną iš gulsčių stiebų pasuksime taip, kad jo galas būtų kiek aukščiau kaip kito stiebo galas (114 piešinys rodo, kad stiebų movos sujungtos su stiklo kojomis šalnieriais, taip kad abiem stiebam galima priduoti gulsčios ir nuožulnios būklės). Išlydydami dabar per kortą Leydeno bonką mes pastebėsime, kad korta visuomet pramušama toje vietoje, kur ją liečia neigiamas smailgalis. Šitas bandymas žinomas Lullino bandymo vardu.

Paimsime dervos arba ebonito raguolį ir paliesime jį smailgaliu, kuris sujungtas su elektros mašinos+konduktorium. Norėdami demonstruoti, kaip atrodo teigiamas išlydis, bersime ant ebonito raguolio per ploną tinklą iš medvilnės gerai sumaišytus smulkius sieros miltelius (geltoni milteliai) ir raudonojo švino (Pb_3O_4). Einant per medvilnės tinklo tarpus sieros dalelės del trynimo elektrinasi neigiamai, o raudonojo švino dalelės teigiamai. Taigi beriant ant ebonito raguolio, į kurį paleidžiamas nuo mašinos teigiamas išlydis, tokius miltelius, raudonojo švino dalelės bus nustumtos, o sieros dalelės bus pritrauktos ir sudarys ant ebonito raguolio figūrą, kurią atvaizduoja 115 piešinys. Mes čia turime vadinamą dendritišką figūrą, sudarytą sieros dalelėmis, kurios nusistato apie aštrumą kaipo apie centrą smulkiausiai ir gražiausiai išsišakojusiomis linijomis. Jeigu mes į ebonito raguolį atkreipsime smailgalį, sujungtą su neigiamu elektros mašinos konduktoriumi, tai mes turėsime ant ebonito neigiamą išlydį, neigiamos sieros dalelės bus nustumtos, o teigiamos raudonojo švino dalelės susitaupys apie aštrumą raudonų debesėlių pavidalu. Šitos figūros žinomos Lichtenbergo vardu. Jos aiškiai rodo skirtingą teigiamos ir neigiamos elektrų charakterį, bet reikia pasakyti, kad ligi šiol tų figūrų prigimtis neišaiškinta.



115 pieš.

Dažnai drauge su elektros išlydžiu mes turime šviesos pasireiškimus, o ypatingai tada, kada mes turime išlydį kibirkšties pavidalu. Sekdami kibirkšties šviesą spektroskopu, mes pamatysime linijas, charakteringas metalams, tarp kurių šoka kibirkštis, lygiai kaip ir linijas, charakteringas orui arba, aplamai, dujoms, per kurias eina elektros išlydis. Vadinasi, išlydis nuskelia nuo konduktorių metalų daleles, dezintegruoja metalus. Taigi, kibirkšties šviesa išeina iš tų materialinių dalelių, kurios randasi kibirkšties pakely. Kibirkšties spektras atrodo nevienodai įvairiose jos vietose tarp dviejų konduktorių. Arti nuo konduktorių metalų spektrinės linijos plačios. Toliau nuo konduktorių ir arčiau nuo oro tarpo vidurio tos metalų linijos darosi siauresnės ir tam tikram atokume nuo konduktorių visiškai išnyksta, tuo tarpu oro arba dujų linijos bet kurioje kibirkšties vietoje atrodo vienodai.

Trumpučio tęsinio ir augštos temperatūros kibirkšties padarinius mes turime staigų adiabatinį oro išsiplėtimą ir kompresiją, taip kad nuo kibirkšties tako skleidžiasi ore išilginė oro banga, kuri yra kibirkšties spragėjimo arba traškėjimo priežastis. Kadangi oras irgi yra dielektrikas, tai elektros išlydis per orą irgi yra surištas su anksčiau aprašyta elektrostrikcija. Vadinasi, turint pakankamai augštą įtempimą oro sluogsnis pramušamas ir susijungimas priešingų ženklų elektrų eina per kanalą, kuris tokiu būdu ore susidaro. Taigi, ir orui reikia priskirti tam tikro stiprumo arba net kietumo elektriško įtempimo atžvilgiu, kitaip sakant, reikalingas tam tikras potencialų skirtumas arba tam tikras potencialo kritimas, kad šitas oro kietumas būtų pergalėtas. Pasirodo vienok, kad tasai oro elektriškas kietumas pareina dalinai nuo formos konduktorių, tarp kurių vyksta elektros išlydis, kaip tai rodo 2 lentelės.

(Žiūr. lent. 120 psl.).

Pirmosios lentelės daviniai liečia išlydį vadinamame homogeniniame elektros lauke ir rodo, kad tokiam lauke įtempimas auga proporcingai kibirkšties ilgiui. II-ji lentelė liečia nehomogeninį elektros lauką ir tame lauke potencialo kritimas yra žymiai didesnis kaip homogeniniame lauke. Štai, pavyzdžiui, prie kibirkštės ilgio 0,1 cm.

I. Išlydis tarp plokščio disko ir rutulio, stipino 9 cm. (homogeninis elektros laukas).

Kibirkšties ilgis (cm.)	Potencialas (Voltais)	Potencialo nuopolis
0,0015	426	284000
0,01	948	94800
0,1	4419	44190
0,5	16326	33210
1	31650	32700

II. Išlydis tarp dviejų rutulių, 0,5 cm. stipino.

Kibirkš-ties ilgis (cm.)	Potencia-las (Voltais)	Potencialo nuopolis	
		g_1	g_2
0,01	1020	105810	105810
0,10	4920	51330	51240
0,50	17760	53880	42630
0,80	24780	61710	37410

homogeninam lauke potencialo kritimas yra lygus 44190 voltų, tuo tarpu nehomogeniniam lauke 51330 voltų. Be to, nehomogeniniam lauke potencialo kritimas yra nevienodas arti nuo izoliuoto rutulio ir arti nuo rutulio, sujungto su žeme. Todel šitie du potencialo kritimai g_1 ir g_2 parodyti antroje lentelėje atskirai. Bet, aplamai, ir viename ir antrame lauke juo didesnis būna potencialų skirtumas, juo ilgesnė būna kibirkštis, nors ir nėra tarp šitų dydžių proporcingumo pareinos. Nehomogeniniam lauke arti nuo izoliuoto rutulio potencialo kritimas visuomet yra didesnis kaip arti nuo rutulio, sujungto su žeme, ir tasai skirtumas didėja augant kibirkšties ilgiui, kitaip sakant, didėjant lauko nehomogeniškumui. Vadinasi, turint trumpas kibirkštis, laukas yra gangreit homogeninis ir todel tuo atveju potencialo kritimai arti nuo vieno ir nuo antro rutulių yra tie patys.

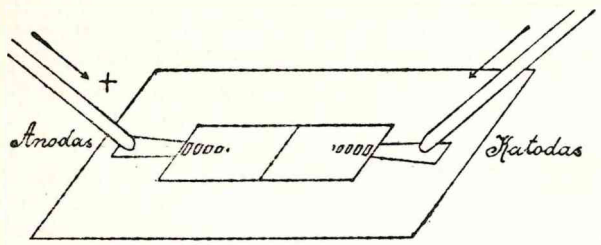
Sukdami elektroforinę mašiną patamsy galim pastebėti mėlynai violetinės šviesos spurgus, kurie išeina iš teigiamo kolektoriaus dantų aštrumų ir tęsiasi ligi sukamo mašinos disko paviršių iš abiejų pusių, tuo tarpu ant neigiamo kolektoriaus dantų galų pasirodo mažutės skaidrios žvaigždės. Aplamai, sukant elektros mašiną patamsy iš jos teigiamo konduktoriaus išeina smulkiai išsišakoję violeti spurgai, o ant aštraus galo neigiamo mašinos konduktoriaus pasirodo skaidrus šviesos taškas. Čia irgi reiškiasi skirtumas tarp teigiamo ir neigiamo elektros išlydžių, ir teigiami spurgai iš vienos pusės ir skaidrios žvaigždutės neigiamo išlydžio iš antros rodo didelį panašumą į Lichtenbergo figūras.

Aprašyti čia išlydžiai atsitinka ore ir dujose prie paprastų spaudimų ir jie visuomet yra trukšmingi. Bet išlydis ore arba dujose prie žemų spaudimų, vadinasi, praskiestoje būklėje, būna visuomet tylus, ir visas išlydžio takas nuo vieno konduktoriaus ligi antrojo būna nušviestas gražia spalvota šviesa, charakteringa dujų medžiagai. Dalykas tas, kad dujos praskiestoje būklėje yra, sulyginti, geras elektros laidininkas ir elektros išlydis tokiose dujose vyksta jau nebe kibirkšties, bet konvekcinės srovės pavidalu. Apie tai mums teks kalbėti plačiau, kada mes tirsime elektros išlydžius praskiestose dujose. Čia tik paminėsime, kad dar 1657 metais buvo pastebėta patamsy silpna šviesa barometro Toricelli tuštumoje, sujudinus šitoje tuštumoje gyvąjį sidabrą. Šitas fenomenas galima pastebėti aiškiai paėmus vamzdį su praskiestu oru ir su nedideliu kiekiu gyvojo sidabro. Lenkiant vamzdį taip, kad gyvasai sidabras tekėtų iš vieno vamzdžio galo į antrą, jo takas patamsy šviečia silpna balsvai žalia šviesa. Gyvojo sidabro trynimas į stiklą sudaro elektros perskyrimą ir abidvi elektros rūšys susijungia per oro likučius vamzdyje, nes, kaip jau pasakyta, oras praskiestoje būklėje yra elektros laidininkas.

Elektros išlydis, ar tai kibirkšties pavidalu, ar tai srovės pavidalu, visuomet yra surištas su chemišku veikimu, kuriuo ypatingai ryškiai pasirodo priešingumas tarp + ir — elektros. Tarp chemiškų išlydžio veikimų reiškiasi didelė įvairenybė, bet visi išlydžio chemiški veikimai galima suvesti į tris tipingas grupes. Pirma grupė apima visus tuos išlydžio chemiškus veikimus, kurie pareina nuo išlydžio arba kibirkšties augštos temperatūros, kaip, pavyzdžiui, degamo dujų mišinio padegimas elektros kabirkšties arba susprogdinimas vandenilio ir deguonio mišinio, arba anglies rūgšties ir kitų sudėtinių junginių suskaldymas. Antros grupės išlydžio veikimai pareina nuo išlydžio arba kibirk-

šues periodiškumo, nuo vadinamų elektros oscilacijų. Pavyzdį tokio veikimo duoda oro ozonizacija, kada ore vyksta elektros išlydžiai kibirkštimis arba, dar geriau, kada turime tylius elektros išlydžius ore. Tokiomis sąlygomis oro deguonis O_2 virsta ozonu O_3, kuris yra daug aktingesnis kaip paprastas deguonis ir kuris galima tuojau pastebėti del charakteringo aštraus kvapo, kurio įgyja oras, susidarius jame ozonui, kad ir mažam kieky. Čia veikia kintanti dielektrinė polarizacija, kuri, einant elektros oscilacijoms per dielektriką, vyksta tai viena, tai kita prasme ir keičią savo kryptį daug sykių per sekundą. Taigi, tokiais atvejais mediume susidaro tokios molekulos, kurios atžvilgiu šitos kintančios dielektrinės polarizacijos būna pastoviausios. Vadinasi, ozono molekulos del tokios kintančios polarizacijos yra pastovesnės kaip paprasto deguonio molekulos ir todel, vykstant oscilacijoms ore, deguonis virsta ozonu. Yra daug ir kitų chemijos reakcijų, kurios vyksta del elektros oscilacijų įtakos arba, kitaip sakant, del periodiško elektros išlydžio.

Trečią chemiškų veikimų išlydžio grupę sudaro vadinamieji elektrolizės procesai, arba elektrolitiški procesai, kurie ypatingai aiškiai rodo ryšį tarp chemiškų ir elektros jėgų. Šitais procesais teks mums labiau susidomėti galvanizmo ir elektrodinamikos skyriuose. Čia duosime tik vieną paprasčiausių pavyzdžių. Paimsime stiklo plokštelę, užlipdysime ant jos du staniolės lapus, atkreiptus aštriais galais vienas į antrą, ir tarpą tarp tų staniolės lapų uždengsime dviem rainais mėlyno ir raudono lakmuso papieriaus, kaip rodo 116 piešinys. Vieną staniolės lapelį sujungsime su elektroforinės mašinos + konduktorium, o antrąjį su—konduktorium. Pirmasai staniolės lapelis vadinasi + elektrodu, arba anodu, o antrasai lapelis vadinasi — elektrodu, arba katodu. Sukant elektroforinę mašiną, tarp tų elektrodų vyks elektros išlydys. Lakmuso popierius iš vienos ir iš antros pusės turi būti uždėtas ant staniolės lapelių, taip kad mėlynas ir raudonas popieriaus rainai sueina vidury tarp staniolės lapelių. Sušlapinsime lakmuso popierių skiediniu Glaubero druskos (Na_2SO_4) ir imsime sukti elektros mašiną. Mes pastebėsim, kad mėlynas lakmuso popierius paraudonuos, o raudonas pamėlynuos.



116 pieš.

Tai reiškia, kad arti nuo anodo susidarė rūgštis, o arti nuo katodo šarmas, tuo tarpu toliau nuo elektrodų mėlynas ir raudonas lakmuso popierius pasilieka be atmainos. Taigi išeina, kad elektros išlydis suskaldo druską į jos šarminę ir rūgščią sudėtines dalis, ir kad tokio suskaldymo produktai pasirodo ant elektrodų: rūgštis ant anodo, o šarmas ant katodo. Todel jau nuo senų laikų buvo žiūrima, kad kiekviena molekula susideda iš elektroteigiamos ir elektroneigiamos dalių ir kad chemiškos jėgos, veikiančios tarp tų dalių, yra ne kas kita, kaip elektros traukos jėgos. Mes vėliau pamatysime, kad yra pagrindo manyti, kad druskos, rūgštys ir šarmai tirpaluose yra dalinai dissocijuoti, bet visuomet taip, kad dissociacijos produktai susideda iš atomų arba atomų grupių (radikalų), užtaisytų elektriškai. Taip, Glaubero druska, ištirpinta vandeny, dalinai susideda iš šių dalių: $N\overset{+}{a}$ $N\overset{+}{a}$ $SO\overset{=}{_4}$. Šitos dalys Faraday'aus buvo pavadintos ionais. Taigi, vykstant elektros išlydžiui, teigiami ionai traukiami prie katodo, kalbamuoju atveju prie katodo traukiami natrijo ionai. Pasiekę katodą jų + įlydžiai neutralizuojami katodo — elektra ir neutralūs elektriškai natrijo atomai reaguoja su vandeniu $Na + H_2O = Na\,OH + H$ ir duoda šarmą arti nuo katodo, kuris ir nudažo mėlynai raudoną lakmuso popierių. Taip pat ionas SO_4 traukiamas prie anodo, jo — įlydis neutralizuojamas + įlydžiu anodo ir neutralus radikalas $SO\overset{=}{_4}$ reaguoja su vandeniu $SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$ ir sudaro arti nuo anodo sieros rūgštį, kuri ir nudažo mėlyną lakmuso popierių raudonai. Aprašytas čia procesas vadinasi elektrolizė. Pirmieji tos elektrolizės produktai ant katodo — natris, o ant anodo SO_4, ir jau, antraeilių reakcijų išdava, ant katodo pasirodo vandenilis ir arti nuo katodo natrijo šarmas,

o ant anodo pasirodo deguonis ir arti nuo anodo sieros rūgštis. Elektrolizė druskų, šarmų ir rūgščių skiedinių visuomet yra surišta su tokiomis antraeilėmis reakcijomis ir visuomet ant elektrodų pasirodo tų antraeilių reakcijų produktai. Bet, jeigu paimsime paprasčiausias druskas, kaip metalų halogenidai skystoje būklėje prie augštos temperatūros, pavyzdžiui, $Zn\ Cl_2$ arba KI, tai, vykstant elektros išlydžiui per tokias druskas, ant katodo visuomet pasirodo metalas, o ant anodo haloidas – pirmieji elektrolizės produktai. Taigi, metalai slenka, einant išlydžiui, visuomet ta prasme, kaip slenka + elektra, tuo tarpu haloidai ir, aplamai, metaloidai slenka ta prasme, kaip slenka — elektra. Priimant ionų būklę ir prie augštų temperatūrų išeina, kad metalų atomai sudaro + ionus, o metaloidų atomai — ionus, ir tokiomis sąlygomis elektros išlydis yra ne kas kita, kaip konvekcija tam tikro kiekio + elektros + ionais arba kationais viena prasme ir konvekcija tokio pat kiekio – elektros—ionais, arba aniionais, priešinga prasme. Todel dar nuo XVIII šimtmečio metalai buvo laikomi elektroteigiamais elementais, o metaloidai elektroneigiamais, ir chemiškos jėgos buvo identifikuojamos su elektros jėgomis (garsi Berceliuso chemiškų jėgų teorija).

10 §. Žaibas. Atmosferos elektros ištekliai. Atmosferos potencialo matavimas. Perkūnijos debesis ir jo energija. Perkūnlaidis.

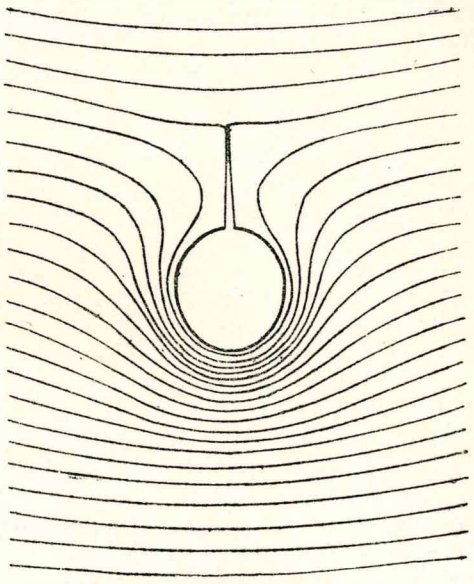
Nuo senų laikų buvo spėjama, kad maža kibirkštėlė, gaunama išlydant elektroforo diską, ir perkūnijos žaibas iš esmės yra tas pats dalykas. Bet tiktai 1752 metais garsiam ir garbingam amerikiečiui Beniaminui Franklinui pasisekė aiškiai įrodyti, kad žaibas yra milžiniška elektros kibirkštis. Franklinas gimė ir užaugo Bostono mieste, ir buvo sūnus didelės, bet neturtingos, spaustuvės rinkėjo šeimos. Todel Franklinas ir pats kurį laiką buvo rinkėju, o paskui spaustuvės savininku Filadelfijoje, ir kaip tik tuo laiku jis studijavo elektros fenomenus, atliko visą eilę sąmoningų bandymų ir nors buvo tiktai savamokslis, parodė nepaprastą gabumą mokslui. Vėliau jam teko atlikti ir didelis valstybinis darbas kuriant pirmą didelę demokratišką valstybę. Ir šiuo savo veikimu jis pasirodė nepaprastai gabus, tauras ir doras. Iš jo mokslo darbų paliesime čia tik jo žaibo prigimties išaiškinimą ir perkūnlaidžio išradimą.

Franklino bandymų pagrindan buvo padėtas anksčiau aprašytas smailgalio veikimas. Franklinas padirbo iš šilko aitvarą ir aprūpino jį vielos tinklu su aštriais galais. Aitvaro virvės galas buvo pririštas prie izoliuoto stulpo. Be to, prie aitvaro virvės buvo prikabintas geležinis raktas. Artinantis perkūnijai jis paleido savo aitvarą į debesį. Franklinas taip aprašo savo bandymą: „Kiekvieną sykį, slenkant perkūnijos debesiui viršuj aitvaro ir arti jo, vielos smailgaliai traukė iš debesio elektros ugnį, ir visas aitvaras su virve darėsi eletrifikuotas“. Franklinas galėjo traukti iš rakto, pakabinto prie aitvaro šniūro, dideles elektros kibirkštis ir sugebėjo užtaisyti elektriškai didelę Leydeno bonką. Po šitų eksperimentų, atliktų Filadelfijoje, buvo visiems aišku, kad žaibas yra didelė elektros kibirkštis ir kad debesio elektra per indukciją, veikiant vielos smailgaliams, susiteikia aitvarui. Savo bandymų vaisius Franklinas sąmoningai suvartojo troboms apginti nuo perkūnijos spyrimo. Bet prieš aprašydami šitą Franklino išradimą, duosime trumpą atmosferos elektros būklės apžvalgą, kad, kiek galėdami, išaiškintume, kaip susidaro perkūnijos debesis ir kaip įvyksta debesio elektros išlydis.

Tyliomis saulėtomis dienomis nesunku įrodyti su pagalba elektrometro, kad žemė turi neigiamą įlydį, tuo tarpu oras viršuj žemės turi teigiamą įlydį. Taigi elektros potencialas auga eidamas nuo žemės augštyn ir potencialo kritimas, skaitant 1 mtr., gali pasiekti 200 ir net 300 voltų. Bet tasai potencialo kritimas juo augščiau darosi vis mažesnis, taip kad labai augštai (20—100 klm. viršuj žemės) randasi nuolatinio potencialo atmosferos sluogsnis. Be to, tasai sluogsnis sulyginti yra jau pusėtinas laidininkas.

Gavę progos, aprašysime trumpai metodus, kuriais matuojami atmosferos potencialai įvairiuose augščiuose. Vienas paprasčiausių ir seniausių metodų yra smailgalio

taikinimas elektros laukui nagrinėti, tiksliau sakant, nustatyti potencialo lygmėms arba ekvipotencialiniams paviršiams elektros lauke. Įsivaizduokim homogeninį elektros lauką. Tai yra toks laukas, kuris perkirstas lygiagrečiomis jėgų linijomis, taip kad to lauko potencialų lygmės eina lygiagrečiomis plokštumomis. Tokiam lauke potencialo kritimas, kitaip sakant, lauko stiprumas arba intensingumas yra visur tas pats. Įkišime į tokį homogeninį lauką konduktorių rutulio pavidalu su ilgu stiebu, su smailu galu, taip kad stiebo ilgis būtų žymiai didesnis kaip rutulio diametras (žiūr. 117 pieš.). Stiebas turi būti pastatytas statmenai potencialų lygmėms, vadinasi, vertikaliai, jeigu tos potencialų lygmės eina gulsčiai, kaip rodo 117 piešinys. Tegu lauko potencialas mažėja einant iš viršaus žemyn ir tegu rutulio įlydis iš pradžios yra lygus nuliui. Taigi tarp stiebo smailaus galo ir apylinkos mes turime potencialų skirtumą, kuris varo + elektrą į stiebą, o — elektrą iš stiebo į apylinką. Vadinasi, mes čia turėsime judėjimą + elektros į stiebą ir į konduktorių ir — elektros iš stiebo per smailų galą į orą, kol tarp oro potencialo ir smailgalio potencialo bus skirtumas. Bet ištekant, taip sakant, — elektrai iš smailgalio, tasai potencialų skirtumas vis mažės, ir greitu laiku smailgalio potencialas pasidarys lygus lauko potencialui toje vietoje, kur randasi smailgalis. Per smailgalį eis nuolatinio potencialo lygmė su įdubimu piltuvėlio pavidalo ant smailgalio paviršiaus, kaip rodo 117 piešinys, ir toliau išilgai konduktoriaus paviršiaus. Visos kitos potencialų lygmės, kurios randasi žemiau, apsiaus stiebą ir rutulį bonkų pavidalu, kaip rodo 117 piešinys.



117 pieš.

Tegu pasiekus šitą būklę mes turėsime ant rutulio elektros kiekį q. Tad potencialas rutulio centre bus $\frac{q}{r}$, jeigu rutulio stipiną pažymėsime raide r. Pažymėsime potencialą vidury šito rutulio, sudarytą ten elektros padalijimu, kuris sudaro nagrinėjamą elektros lauką, raide V_0. Tad visas potencialas rutulio centre bus $\frac{q}{r} + V_0$. Bet tai bus tuo pačiu laiku ir lauko potencialas toje vietoje, kur randasi ilgo stiebo smailas galas. Pažymėsime šitą potencialą raide V. Tad mes turime $V = \frac{q}{r} + V_0$, iš to: $V - V_0 = \frac{q}{r}$. Tas rodo, kad potencialo sumažėjimas nuo tos elektros lauko vietos, kur randasi smailgalis, ligi rutulio centro, yra lygus rutulio įlydžiui, padalytam į jo stipiną.

Nesunku suprasti, kad šitas metodas potencialo išlyginimo galima taikinti ir tais atvejais, kada mes turime darbo su nehomogeniniu elektros lauku, kuriame ekvipotencialiniai paviršiai gali būti iškreipiami visaip. Aišku, kad varydami smailgalį taip, kad sujungto su juo ratulio įlydis nesikeistų, mes eisime išilgai paviršiaus nuolatinio potencialo, kaip tas paviršius bebūtų iškreiptas.

Atmosferos elektros laukas paprastai yra homogeninis laukas, ir kad surastume atmosferos potencialą toje ar kitoje vietoje viršuj žemės, privalome turėti izoliuotą ilgą metalinį stiebą su smailu galu, sakysime, pastatytą išorėj laboratorijos stogo. Tokiomis sąlygomis stiebo galo potencialas bus lygus atmosferos potencialui toje vietoje, kur randasi tas galas, ir, sujungę stiebą su kvadrantų elektrometru plona,

gerai izoliuota viela, mes, žinomu jau mums būdu, galėsime išmatuoti atmosferos potencialą.

Kada reikia nustatyti atmosferos potencialas žymiai augščiau nuo žemės, galime specialinės konstrukcijos elektrometrą padėti skrajojamoje pūslėje (oro balone) ir izoliuotą laidininką su smailu galu nuleisti iš pūslės žemyn. Sujungę šitą laidininką su elektrometru, mes išmatuosime atmosferos potencialą toje vietoje, kur randasi laidininko smailus galas.

Tą patį rezultatą ir dar geriau galime gauti, jeigu, vietoj smailaus galo, metalinio stiebo galą aprūpinsime degtu, inpregnuotu kerosinu, spiritu arba, aplamai, kokia nors degama medžiaga. Padegę degtą, mes turėsime liepsną ir toje liepsnoje teigiamų ir neigiamų ionų. Taigi tie ionai sudarys konvekcines elektros sroves, kurios mažins potencialų skirtumą tarp metalinio stiebo galo ir atmosferos toje vietoje, kur tas galas randasi ir, pagaliau, išlygins tą potencialų skirtumą.

Kitas geras būdas išlyginti potencialų skirtumui tarp atmosferos ir izoliuoto laidininko galo yra lordo Kelvino metodas ištekančios vandens srovės pavidalu smulkių vandens lašelių iš čininės per siaurą skylę. Čininė (metalinis cilindrinis indas su siaura skyle jo dugne) prijungiama prie izoliuoto stiebo galo. Į čininę įpilta vandens. Vanduo smulkiais lašais varva iš čininės ir kiekvienas lašas nuneša su savimi tam tikrą — elektros kiekį, taip kad ant čininės paviršiaus didėja + elektros kiekis tol, kol čininės potencialas pasidarys lygus atmosferos potencialui.

Bet visų geriausias metodas, vartojamas šiandien išlyginti potencialų skirtumui tarp stiebo galo ir atmosferos, yra tas, kuriuo ant stiebo galo padedama radioaktingos medžiagos kruopelytė (radio preparato kruopelytė). Radioaktinga medžiaga smarkiai ionizuoja orą ir todel ore susidaro stiprios konvekcinės elektros srovės, kurios labai greitai išlygina potencialų skirtumą tarp stiebo galo ir atmosferos, daug greičiau kaip liepsna, nes oro ionizacija, veikiant radio preparatui, yra daug smarkesnė, kaip liepsnos ionizacija.

Taigi aprašytais čia metodais įvairiais laikais įvairiose vietose buvo matuojami atmosferos elektros potencialai. Tie matavimai parodė, kad tyliomis giedriomis dienomis atmosferos elektros potencialą ištinka variacijos periodinio pobūdžio. Matavimai rodo, kad per parą atmosferos potencialo variacijos rodo du maksimumus ir du minimumus. Paprastai potencialas auga auštant dienai ir keletą valandų prieš vidurdienį pasiekia maksimumą, vadinasi, praslinkus keletui valandų po saulės užtekėjimo. Paskui tas potencialas mažėja ir pasiekia minimumą po pietų, keletą valandų prieš saulės nusileidimą. Toliau, potencialas ima vėl didėti ir pasiekia antrąjį maksimumą praėjus keletui valandų nuo saulės nusileidimo. Naktį potencialas vėl mažėja ir pasiekia antrąjį minimumą prieš auštant. Be to, potencialo matavimais konstatuota, kad potencialo variacijos žiemos metu daug smarkesnės kaip vasaros metu.

Pagaliau potencialo matavimai rodo, kad greta su dieninėmis potencialo variacijomis vyksta metinės periodinės potencialo variacijos, kaip tai matyti iš šios skaičių eilės, paimtos iš Elsterio ir Geitelio matavimų per dvyliką mėnesių, nuo sausio ligi gruodžio. Šitoje eilėje paduoti potencialo kritimai skaitant 1 cm tarp dviejų potencialo lygmių:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
3,91	3,39	2,94	1,38	1,10	1,02	1,23	1,21	1,21	1,88	2,60	4,70	$\frac{\text{Volt.}}{\text{cm.}}$

Galimas daiktas, kad metinis potencialo kritimo periodas pareina nuo vandens garų kiekio atmosferoje įvairiais laikais ir nuo veikimo saulės spindulių žemės neigiamąjį įlydį, nes saulės violeti ir ultra violeti spinduliai, kaip žinoma, nuvaro neigiamą elektrą nuo kūnų paviršiaus į apylinkos orą.

Iš duotos skaičių eilės matyti, kad atmosferos elektros lauko intensingumas yra labai mažas paprastomis sąlygomis, t. y. tyliomis giedriomis dienomis.

Debesuotomis ir audringomis dienomis mes turime nenormalių santykių, nes tokomis dienomis dažnai toje ar kitoje vietoje žemės paviršius turi teigiamą potencialą,

tuo tarpu oras reiškia neigiamą potencialą, nekalbant jau apie tai, kad tasai potencialų skirtumas būna žymiai didesnis kaip tyliomis dienomis. Reikia pasakyti, kad atmosferos elektros mokslas yra sulyginti jaunas, ir mes neturime atmosferos normalinės elektros būklės teorijos, panašios į Gauso žemės magnetizmo teoriją. Aišku tik, kad tas laukas yra debesų įtakoje, atmosferos nuosėdų, perkūnijų, saulės spindulių ir kitų kosmiškų veiksmų.

Kalbant apie normalų atmosferos elektros lauką reikia atsiminti dar tas faktas, kad tyras, be dulkių, sausas oras išsklaido elektrą daug smarkiau, kaip drėgnas oras. Tas parodo, kad elektriškai užtaisytas izoliuotas laidininkas daug greičiau nustoja savo įlydžio tyrame sausame ore, kaip drėgname. Taigi, kyla klausimas, kurgi tie elektros ištekliai, kurie palaiko nuolatinį potencialų skirtumą tarp žemės paviršiaus ir oro, nes jeigu nebūtų tokių nuolatinių išteklių, tai potencialų skirtumas tarp atmosferos ir žemės paviršiaus būtų labai greitai panaikintas. Į šitą klausimą aiškaus ir tikro atsakymo mes neturime. Galima spėti, kad žemės radioaktinga medžiaga yra nuolatinis ir tikras išteklius atmosferos elektros normalinėmis sąlygomis. Šiandien mes žinome, kad ne tik radio junginiai, bet ir visokie mineralai ir paprastos uolos, kurios sudaro žemę, reiškia šiokį tokį radioaktingumą, nors ir labai silpną, vadinasi, duoda aktingų emanacijų. Einant toms emanacijoms per siaurus plyšius žemėje, per įvairius tarpus ir akytes, elektronai (neigiamos elektros atomai) smarkiau pritraukiami prie tų plyšių arba kanalų sienų, kaip α dalelės (teigiami ionai), nes leidžiant elektroaktingą emanaciją per metalinį vamzdį, tasai vamzdis užsitaiso neigiamai, tuo tarpu perteklius teigiamos elektros suteikiamas orui. Taigi, tokiu būdu radioaktingos žemės mineralų ir uolų emanacijos nuolat suteikia žemei neigiamą įlydį, o perteklių teigiamos elektros suteikia orui. Tiek del atmosferos elektros išteklių normalinėse sąlygose. Norintiems smulkiau susipažinti su atmosferos elektros mokslu rekomenduojama paskaityti prof. Gockelio brošiūrą „Oro elektra“ (Gockel „Die Luftelektrizität“).

Greta su radioaktingomis emanacijomis iš žemės vidurio, kurios yra nuolatinis atmosferos elektros išteklius ir kuriomis palaikoma normalinė elektros būklė atmosferoje, veikia dar visa eilė kitų elektros išteklių, kurie dažnai sudaro nepaprastai didelių potencialo variacijų ir įtempimų ir pagaliau veda prie išlydžių žaibų pavidalu. Meteorologai jau seniai nustatė ryšį tarp perkūnijos ir ciklonų. Ypač ten, kur izobaruose (linijose vienodo oro spaudimo) reiškiasi depresijos V-formos, susidaro ciklonai arba milžiniški oro sūkuriai apie gulsčią ašį. Toksai oro sūkurys arba ciklonas visais atžvilgiais yra panašus į cilindrinę trynimo elektros mašiną. Didelė oro masė sukdamosi trinasi į žemės paviršių, elektrifikuojasi ir, kildama augštyn, pasiekia augštus atmosferos sluogsnius, kurie yra pusėtini elektros laidininkai ir atiduoda tiems sluogsniams elektrą. Be to, kįlant ciklonų orui augštyn, oras plečiasi, temperatūra jo krinta ir vandens garai ima kondensuotis, daryti rūkus ir debesis, kurie tokiomis sąlygomis būna elektrifikuoti. Prie šito elektros ištekliaus reikia dar pridėti, aplamai, elektrifikacija trinimu rūkų ir debesų, slenkant jiems uolų paviršiais. Reikia vienok laikyti klaidinga, dažnai reiškiamą, nuomonę, kad koalescencija (susiliejimas) mažučių vandens lašų į didesnius lašus esanti surišta su žymiu potencialo padidėjimu. Antra vertus, lordas Rayleigh savo bandymais įrodė, kad elektrifikacija visuomet veda prie vandens lašų koalescencijos. Užmovę ant vandentiekio krano kaučuko vamzdį ir įkišę į kitą to vamdžio galą stiklo vamzdį, kurio laisvas galas ištemptas ir turi siaurą skylę, mes gausime nedidelį fontaną, kuris sudaro gražius krintančių žemyn vandens lašų spurgus. Kol tų lašų potencialas vienodas, tie lašai susidaužydami atšoka vienas nuo kito, nesusilieja. Bet jeigu arti nuo tokio fontano laikysime patrintą flanele ebonito lazdą, tai vandens srovė smarkiai susitraukia, jos pavidalas griežtai mainosi ir ima kristi žemyn dideli vandens lašai, panašūs į perkūnijos lietų. Taip lordas Reyleigh visa eile eksperimentų įrodė, kad, sulyginti, nedidelis potencialų skirtumas visuomet palengvina lašų susiliejimą.

Sir Oliver Lodge atliko panašius eksperimentus su dulkėtu oru ir su vandens rūkais, ir konstatavo, kad ir šituo atveju elektrifikacija arba, tiksliau sakant, potencialų skirtumo sudarymas veda prie dulkių dalelių susiliejimo, taip kad tos dulkės kuokštais

ima dribti žemyn, vandens rūkas tokiomis sąlygomis virsta lietaus debesiu, iš kurio ima dribti žemyn vandens lašai.

Pagaliau Robertas Helmholtzas, išlydydamas elektrą iš smailgalio į šviesiai baltą rūką vandens garų, kurie veržėsi pro mažą skylę iš katilo, pastebėjo, kad tas garų debesis darosi tamsus, gangreit juodas ir labai primena savo pavidalu besiartinantį perkūnijos debesį. Šitas fenomenas nėra dar galutinai išaiškintas, bet galima manyti, kad elektrifikacija yra priežastimi žymiai sustiprintai garų kondensacijai.

Minėti čia bandymai aiškiai rodo, kad tarp įvairių atmosferos reiškinių, ypač tarp rūkų ir debesų susidarymo iš vienos pusės ir tarp atmosferos potencialo variacijų iš antros pusės veikia santykiai. Be to, šitie faktai rodo, kaip galima sudaryti lietus. Išlydžiai į atmosferą iš galingų augšto įtempimo elektros šaltinių gali sudaryti garų kondensaciją, lašų koalescenciją ir pagaliau lietaus debesį.

Kadangi žemės paviršius ir augštieji atmosferos sluogsniai yra pusėtini laidininkai, tai mes galime žiūrėti į sistemą žemė - atmosfera kaipo į didelį kondensatorių, kurio vienas pamušalas yra žemės paviršius, o antrasis augštasai atmosferos sluogsnis ir dielektrikas tarp tų pamušalu — oras. Kartais viršutinio pamušalo iškyšuliai pavidalu debesių, kurie slenkdami žemyn neša su savimi elektros įlydžius augšto atmosferos sluogsnio, tiek prisiartina prie žemės, jog oras nebesugeba išturėti įtempimo ir įvyksta išlydis žaibo pavidalu: debesio elektra ir žemės elektra susijungia taip pat, kaip susijungia + ir — elektra elektros mašinos, šokant kibirkščiai tarp jos konduktorių. Kada elektrifikuotas debesis pakankamai prisiartina prie kito debesio, neutralaus elektriškai, tada indukcija perskiria neutralaus debesio elektrą ir priešingos debesių elektros susijungia žaibo pavidalu. Tada mes turime elektros išlydį tarp dviejų debesių.

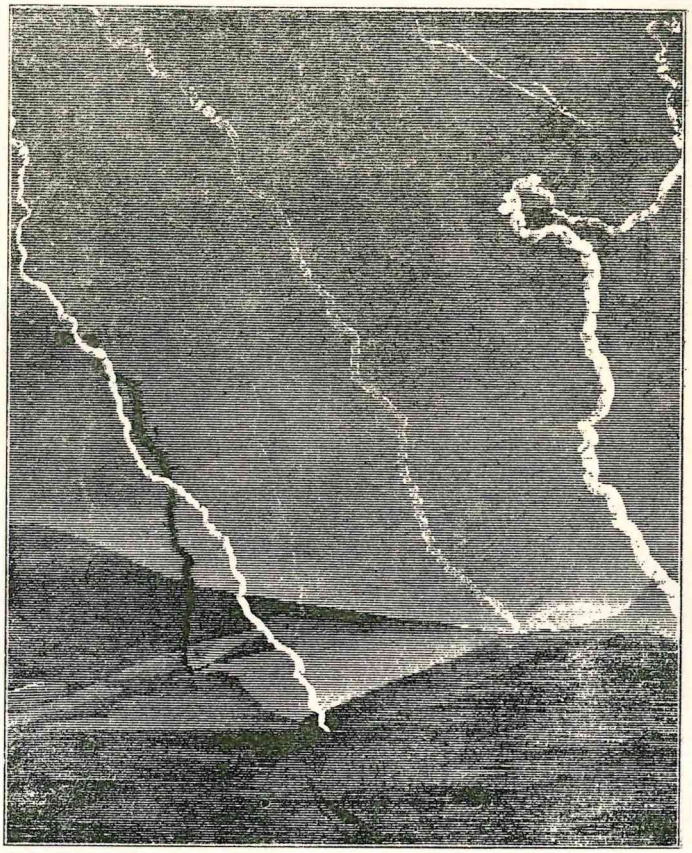
Elektros energijos kiekiai, su kuriais čia tenka skaitytis, yra labai dideli. Apskaityti tie kiekiai galima einant tuo nustatytu faktu, kad oras, būdamas dielektrikas, gali išlaikyti įtempimą nedaugiau kaip 0,5 gramo, skaitant vienam cm.^{2} ploto. Pasiekus įtempimui šitą ribą, oras pramušamas. Taigi šitomis sąlygomis kiekvienas cm.^{3} oro turi $\frac{981}{2}$ ergų energijos. Įsivaizduokime dabar perkūnijos debesį 1 klm.^{2} ploto ir 1 klm. atstume nuo žemės. Tai yra gan paprastas dalykas. Taigi mes tada turėsime kondensatorių, kurio tūris yra lygus 1 klm.^{3} arba 10^{15} cm.^{3}. Šito kondensatoriaus energija bus lygi $\frac{981.10^{15}}{2}$ ergų $= \frac{981.10^{15}}{2.10^7}$ džiaulių $= \frac{981.10^{15}}{2.10^7.736} = 67.10^6$ arklių (vienas arklys yra lygus 736 džiaulių). Jeigu debesis būtų tobulas laidininkas, tai visas tas baisus energijos kiekis išsilydytų pavidalu vieno milžiniško žaibo ir tokio žaibo efektas būtų didžiausi katastrofa. Bet, del tos priežasties, kad debesis yra pusėtinas laidininkas, jo elektros energija išsisklaido ne vienu galingu žaibu, bet eile silpnesnių žaibų, kurie seka vienas paskui kitą tam tikrais laikotarpiais. Išsilydo elektra ant smarkiau išsikišusios debesio dalies, ir, del debesio blogo laidumo, reikalingas tam tikras laikas, kol bus kompensuotas tas išlydis, kol, kitaip sakant, įvyks naujas likusio įlydžio padalijimas debesyje. Todel kiekvieno debesio elektra išsilydo porcijomis, dalimis.

Kadangi perkūnijos debesio potencialas yra labai didelis, tai pakanka, sulyginti, nedidelio elektros kiekio, arba įlydžio, kad išeitų visgi didelis energijos kiekis, nes, kaip jau mes žinome, energija yra lygi pusei sandaugos įlydžio į potencialą. Remiantis šitame paragrafe duotais santykiais tarp kibirkšties ilgio ir potencialo galima apskaityti žaibo potencialas vieno klm. ilgio. Išeina apie 16.10^6 elektrostatinių vienetų arba $16.10^6.300 = 4800.10^6$ voltų (apie 5000 milijonų voltų). Antra vertus, turint debesį 1 klm.^{2} ploto jo įlydis yra lygus 10^{11} elektrostatinių vienetų arba $\frac{3.10^9}{10^{11}} = 33{,}3$ kulono. Tai yra, sulyginti, nedidelis elektros kiekis, nes tuo elektros kiekiu galima suskaldyti į elementus tik apie 5 miligramai vandens. Bet, nepaisant to, žaibo elektros srovė gali būti labai stipri, nes srovė pareina nuo laiko, per kurį įvyksta išlydis. O žaibas tęsiasi labai trumpą laiką, taip kad žaibo elektros srovė būna irgi smarki.

Žaibo tęsinys, kaip ir kibirkšties tęsinys, galima nustatyti su pagalba greitai sukamo veidrodžio, kuris atmeta žaibo vaizdą ant jautrios fotografinės plokštelės. Matavimas

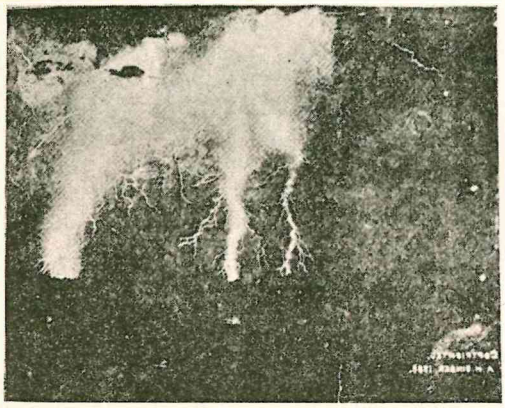
rodo, kad yra žaibų, kurie tęsiasi tik $^1/_{100000}$ sekundos dalį, bet yra ir tokių, kurie tęsiasi visą sekundą.

Išoriniu savo pavidalu yra trys žaibo rūšys. Linijiniai žaibai, kurie kartais pasiekia ilgį 10 — 15 klm., turi laužtos linijos pavidalą (tęsiasi zigzagais). Tiktai tų laužtų linjų atkarpos niekuomet nesudaro aštrių užlenkimų, kaip dažnai žaibą piešia menininkai, bet visuomet tie užlenkimai yra apvalūs (žiūr. 118 pieš.). Dažnai linijinis žaibas būna smarkiai išsišakojęs, kaip rodo 119 piešinys. Šituo atveju linijiniai žaibai visiškai yra panašūs į kibirkštis, ištraukiamas iš elektros mašinos konduktoriaus.



118 pieš.

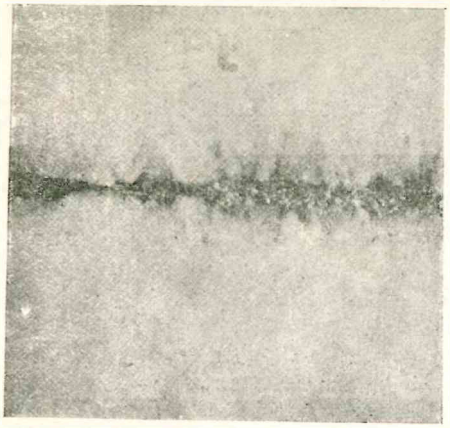
Antrą žaibo rūšį sudaro vadinamieji plokšti žaibai, kurie skleidžia silpnesnę ir dažnai rausvą šviesą per visą debesio paviršių. Galima manyti, kad tie žaibai yra ne kas kita, kaip linijinių žaibų, uždengtų debesiu, atspindis. Rečiau pasirodo trečios rūšies žaibai, būtent, rutulio žaibai, kurie nelyginant kaip ugnies rutulys, drimba iš debesio ant žemės. Tokie žaibai slenka, sulyginti, pamaži ir dažnai arti nuo žemės klaidžioja. Šitų žaibų prigimtis ligi šiol nėra išaiškinta. Kaip elektros kibirkštį seka spragėjimas, taip žaibą seka griausmas. Kadangi šviesa skleidžiasi milijoną sykių greičiau, kaip garsas, tai iš laikotarpio tarp žaibo žybtelėjimo ir griaustinio galima nustatyti žaibo atstumą nuo stebėtojo. Žaibas tęsiasi labai trumpą laiką ir garsas susidaro gangreit tuo pačiu laiku ant visos žaibo linijos. Bet, kadangi garsas skleidžiasi, sulyginti, pamaži ir nuo įvairių žaibo vietų pasiekia mūsų ausį ne tuo pačiu laiku, tai žaibo garsas virsta dundėjimu, kuris dažnai tęsiasi keliasdešimt sekundų ir daugiau. Įsivaizduokim dvi žaibo vietas atstume tik 1000 metrų viena nuo antros. Tad garsas nuo tolimesnės žaibo vietos pasieks mūsų ausį trimis sekundomis vėliau, kaip nuo artimesnės vietos. Per šitą laiką garso įspūdis nėra vienodas: paprastai griausmas prasi-



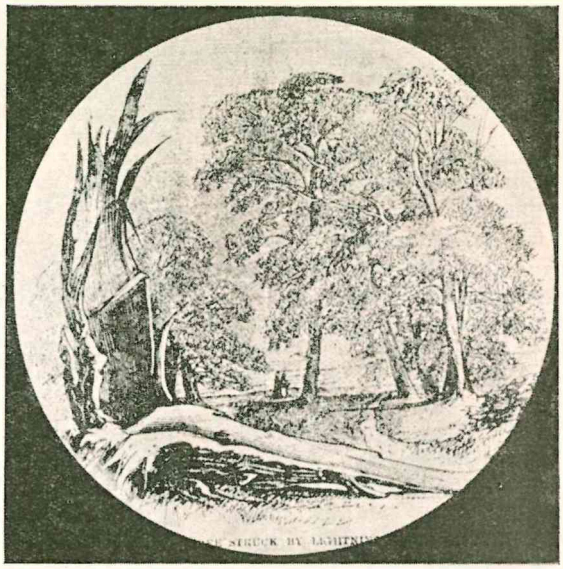
119 pieš.

deda silpnu dundėjimu, paskui kurį eina smarkus sprogimas. Tasai sprogimas baigiasi dusliu dundėjimu. Dalykas tas, kad nuo kiekvienos atkarpos vingiuotos žaibo linijos garsas pasiekia ausį įvairiais laikais ir tik tokiu atveju, kada ausis randasi žaibo lanko pavidalu centre, garsas nuo visų žaibo vietų pasiekia ausį tuo pačiu laiku ir mes girdime smarkų sprogimą. Taigi griausmo dundėjimas yra išdava to, kad garso greitumas yra gangreit milijoną sykių mažesnis, kaip šviesos greitumas, ir del to, kad įvairios žaibo linijos vietos randasi įvairiuose atstumuose nuo mūsų ausies. Be to, dundėjimas stiprėja ir užsitęsia del griausmo atspindžio nuo debesių, kalnų, miško ir t. t.

Amalu vadinasi žaibai be griausmo. Tai yra labai toli vykstantieji elektros išlydžiai atmosferoje arba elektros išlydžiai augštesniuose atmosferos sluogsniuose, kur del, sulyginti, praskiesto oro gero laidumo turi vietos tylūs elektros išlydžiai. Panašios rūšies išlydžius mes turime augštuose atmosferos sluogsniuose ašigalių srityse, kur tie išlydžiai sudaro tą iškilmingą ir gražų reiškinį, kuris vadinasi šiaurės šviesa (Aurora borealis). Įdomus tai faktas, kad ašigalių srityje perkūnija nepastebėta.



120 pieš.



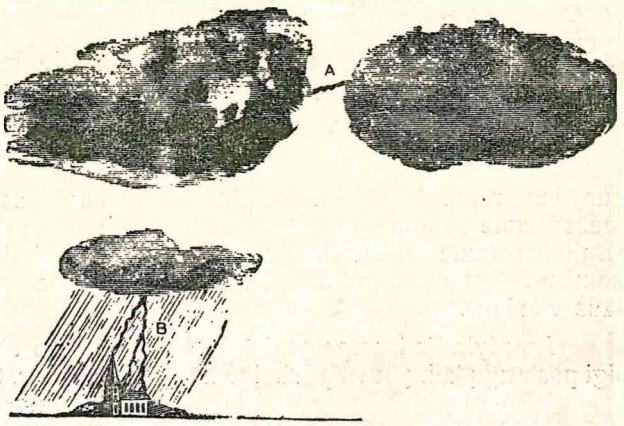
121 pieš.

Kad galėtų susidaryti žaibas, reikalinga, sulyginti, didelis dielektriko ilgis. Bet elektros išlydžiai dielektrike labai dažnai prasideda nuo iškyšulių ant žemės paviršiaus, nes tokių iškyšulių galai sudaro visuomet silpniausią dielektriko vietą, kurią ir pramuša elektros įtempimas. Tokiais iškišuliais gali būti žmogus ant žemės lygumos, medžiai, akmens ir dažnai nedideli kauburiai. Išlydžiai nuo tokių iškyšulių galų vyksta visuomet spurgais. Ypač smarkų ir gražų efektą duoda tokie išlydžiai spurgais nuo iškyšulių kalnų viršūnėse. Šitie išlydžiai žinomi nuo senų laikų šv. Elmo ugnies vardu. Nuo seniausių laikų smarkų įspūdį darydavo šviesos spurgai iš kareivių šalmų smailgalių, artinantis perkūnijos debesiui arba perkūnijos metu. Bet ir žaibas spiria į išsikišusias vietas ant žemės, nes ir išlydis žaibu lengviausia vyksta silpniausiose dielektriko vietose. Tiktai išlydis žaibu reikalingas yra žymiai didesnio potencialų skirtumo, kaip išlydis spurgais, nes žaibo linija gali tęstis ligi 10 ir 20 klm.

Akivaizdoje didelio energijos kiekio žaibo mechaniškas, termiškas ir chemiškas veikimai yra labai smarkūs. Žaibas dažnai sutirpina laidininkus ir visuomet sudaro silpnesnę ar smarkesnę laidininko deflagraciją. 120 piešinys rodo fotografiją geležies vielos, apdegintos ir mechaniškai sužeistos žaibu. 121 piešinys rodo fotografiją medžio, sudaužyto žaibu. Žaibas pramušė medžio žievę, nuplėšė ją ruožais ir sukapojo medį plonomis skiedromis. Toksai mechaniškas žaibo veikimas bent dalinai pareina nuo staigaus susidarymo vandens garų iš medžio narvelių syvų, veikiant žaibui. Aplamai,

žaibas įkaitina ir dažnai sutirpina ir net paverčia garais gerus laidininkus, o blogus laidininkus sudaužo. Ant kalnų viršūnių žaibas sutirpina paviršių uolų galus, taip kad tie galai atrodo kaip stiklu apkloti, aplamai, apvalina aštrias uolų briaunas. Smėlyje žaibas sudaro išsišakojusius, iš vidaus pastiklintus vamzdžius, arba kanalus, vadinamus fulguritus (pas mus jie vadinasi velnio pėdsakai). Tie kanalai dažnai būna nuo 4 ligi 10 metrų gilumo ir nuo keleto mm. ligi keleto cm. diametro. Jie siaurėja eidami gilyn ir baigiasi aštriu galu. Savaime suprantama, kad žaibas gali padegti degamą medžiagą ir aptrenkti ir net užmušti gyvulį ar žmogų.

122 piešinys rodo, kaip dažnai spiriant žaibui iš vieno debesio į kitą debesį tuo pačiu laiku kitas žaibas spiria iš žemesnio debesio į žemę (čionai žaibas spiria į bažnyčią net trijose vietose išsyk). Tokiais atvejais reiškiasi dar ypatingas efektas, kurį galime pavadinti žaibo atatranka. Dalykas tas, kad susidarant žaibui didelis dielektriko plotas staiga atsipalaiduoja nuo įtempimo, ir elektros judėjimas išilgai debesio ir išilgai žemės paviršiaus į žaibo liniją sudaro tokią būklę, kuri, taip sakant, paskatina kitą žaibą, antrinį žaibą, kuris praktiškai įvyksta tuo pačiu laiku, kaip ir pirminis žaibas. Šita elektros atatranka gali užmušti žmogų, ir seniau buvo manoma, kad tai yra išdava žmogaus elektros perskyrimo per indukciją, veikiant debesio elektrai. Išsilydžius debesiui šita elektra šauna nuo žmogaus galvos žemyn, atstatant žmogaus elektros pusiausvyrą.



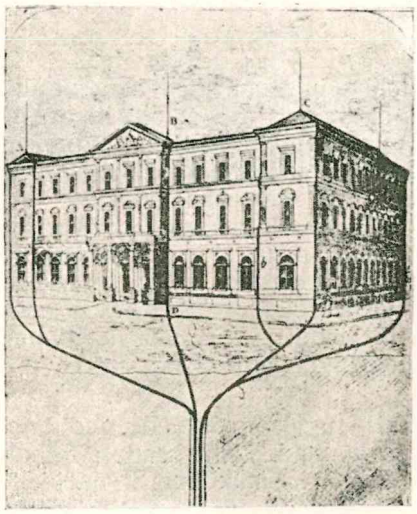
122 pieš.

Tasai pusiausvyros atstatymas vykstąs, girdi, su tokiu inirtimu, kad žmogus dažnai gali būti užmuštas. Reikia pasakyti, kad šitas aiškinimas neišlaiko kritikos, nes elektros įtempimas, kuris tokiu atveju veikia, galėtų greičiau nutraukti nuo žmogaus galvos skrybėlę, kaip jį užmušti. Iš tikrųjų elektros atatranka reiškia daugiau kaip paprastą elektros pusiausvyros atstatymą. Ji pareina nuo elektriško momento arba nuo elektros inercijos. Tai yra elektros įlydžio oscilacija, kurio pusiausvyra bus panaikinta vietiniu elektros išlydžiu tam tikram atstume, panašiai į vandens masės svyravimą rezervuare, kuris sujungtas su kitu rezervuaru ir kada tam kitam rezervuare vanduo išjudintas. Taigi į šitą elektros atatranką galima žiūrėti kaipo į aidą pirmykščio žaibo, aidą, sudarytą ne vien tik paprasta elektrostatine indukcija ir jos panaikinimu, bet daug galingesniu veikimu elektromagnetinio momento, apie kurį mums teks kalbėti daugiau elektromagnetizmo skyriuje.

Franklinas, kuris įrodė žaibo prigimtį, pirmutinis sugalvojo ir būdą nuo žaibo kenksmingo veikimo apsiginti. Jis pirmutinis išrado perkūnlaidį, kuris remiasi žinomu jau mums smailgalių veikimu. Kada ant žemės yra daug iškyšulių, nors ir nedidelių, tai visi tie iškyšuliai pamaži gali išlydyti perkūnijos debesį, jeigu tik tas debesis elektriškai ne per stiprus. Taigi aprūpinus namus daugybe smailgalių ir ne per augštų, o dar geriau visa eile mažučių iškyšulių, kauburiukų arba pumpučių pavidalu, sujungus juos visus tarp savęs laidininkais ir su žeme, mes labai gerai apgintumėm namą nuo žaibo iš debesio, kuris elektriškai nėra per stiprus, nes tokio debesio elektra būtų nuosakiai ir pamaži išlydoma. Tai būtų, taip sakant, žaibo perspėjimas arba preventyvė priemonė nuo žaibo apsiginti, nes tokiu būdu mes neduotumėm žaibui progos susidaryti. Bet dažnai perkūnijos debesis taip greitai atvyksta arba turi tokį milžinišką energijos perteklių, jog net ir miriadai smailgalių arba pumpučių nebegelbsti, nes nespėja pakankamai greitai išlydyti tokio debesio. Smailgaliai ir pumpučiai ypatingai nieko negelbsti tada, kada

vienas debesis drožia į kitą ir tuo pačiu laiku trečias debesis žemiau drožia į žemę, kitaip sakant, tokiu atveju, kada, aplamai, tam tikras oro sluogsnis staiga tampa elektriškai įtemptas, vienu žodžiu, tuo atveju, kada mes turime darbo su mūsų minėta elektros atatranka. Tokiais atvejais troba turi būti aprūpinta perkūnlaidžiu. Franklino išrastas perkūnlaidis susideda iš vieno arba keleto vertikaliai pastatytų metalinių virpsčių su aštriais galais, įtaisytų augščiausiose trobos vietose. Nuo visų tų virpsčių trumpiausiais keliais ištiesti laidininkai, vengiant aštrių užlenkimų ant stogo ir išilgai sienų. Pagaliau, tų laidininkų tinklas gerai sujungtas su žeme. Virpstis ir laidininkų tinklas ant stogo dažnai imami iš vario del geresnio laidumo. Virpsčių galai apkloti platinos arba aukso sluogsniu, nes platina ir auksas ne taip greitai tirpsta, kaip varis ar geležis. Bet nesudarys didelio skirtumo laidumo ir efektingumo atžvilgiu, jeigu virpstis ir tinklas bus geležiniai. Užtat bus daug pigiau. Laidininkai imami arba plonų cilinderių arba pavidalu pluoštų iš vielos. Imant geležį laidininko skerspjūvis turėtų būti ne mažesnis, kaip 100 mm.^{2}. Visos metalinės namo dalys, stogo latakai, vandens ir dujų tinklas turi būti metališkai sujungti su perkūnsargio laidininko tinklu. Bet ypatingai svarbu turėti geras sujungimas su žeme. Geriausia įleisti laidininkas į žemę, kiek galint giliau, kad būtų pasiekti drėgni žemės sluogsniai, nes sausa žemė yra blogas elektros laidininkas. Galima įleisti laidininko galas į upę arba į prūdą, jeigu prūdas pakankamai didelis. Negalint pasiekti didesnių vandens masių arba tokios gilumos žemėje, kur jau randasi požeminis vanduo, galima pasitenkinti įleidus laidininką į žemę mažesniame gilume, padėjus ten keletą tonų kokso ir, kiek galima, smarkiau iššakojus tame kokse laidininko galą. Kad būtų palaikytas tokioje vietoje pakankamas drėgnumas, galima įleisti į žemę maišas su druska arba nuleisti į tą vietą lietaus vandens.

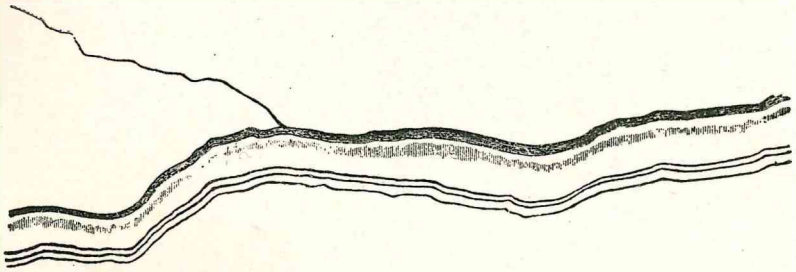
Aprašyta čia trumpai perkūnlaidžio įrengimo schema priklauso Franklinui. Praktikoje ligi pastarųjų laikų buvo prisilaikoma šitos schemos, tobulinant ją tai vienu, tai kitu atveju.



123 pieš.

123 piešinys atvaizduoja gerą perkūnlaidžio įrengimą didesniems namams apginti nuo žaibo. Kiekvienas stogo iškyšulys, kiekvienas jo šerys aprūpinti metalinėmis virpstimis ir nuo kiekvienos virpsties nutiesti laidininkai į žemę ir įleisti ten giliai. Stogo lietaus latakas prijungtas iš abiejų galų prie virpsčių. Taip pat vandentiekio ir dujų vamzdžių tinklai prijungti prie perkūnlaidžio. Reikia vienok vengti prijungimo prie perkūnlaidžio metalinių dalių, kaip antai dujų vamzdžiai arba elektros instalacijos laidininkai vidury namų, nes asmens, kuriems teks būti namų vidury, arti nuo tokių laidininkų, perkūnijos metu gali gauti labai pavojingą smūgį, ypač pavojingą, kada tas smūgis klius į galvą. Labai svarbu turėti vadinama gera žemė, kitaip sakant, kiek galint giliau į žemę įleisti išsišakoję perkūnlaidžio galai, kad žaibas nepakenktų vandentiekio ir dujų vamzdžiams, namų pamatams ir tokiems dalykams, kurie tuose pamatuose randasi. Labai svarbu taipogi, kad perkūnlaidžio tinklo metalinės dalys galėtų plėstis ir trauktis kintant oro temperatūrai, kad būtų išvengta laidininko pertraukimo arba plyšimo toje ar kitoje vietoje, nes plyšys laidininke duos progos žaibui nušokti nuo jo ir pasirinkti sau kitą kelią, kuriuo eidamas gali pridaryti daug žalos. Jau anksčiau buvo pabrėžta, kad jungiant stogo ir namo išsikišusias dalis ir metalines dalis su virpstimi ir tarp savęs reikia vengti griežtų užlenkimų ir tiesti laidininkai, kiek galint tiesiau, nes griežtų užlenkimų vietose žaibas irgi gali nušokti nuo užlenkimo arba, užuot ėjęs užlenkimu peršokti skersai nuo vienos užlenkto laidininko dalies į kitą.

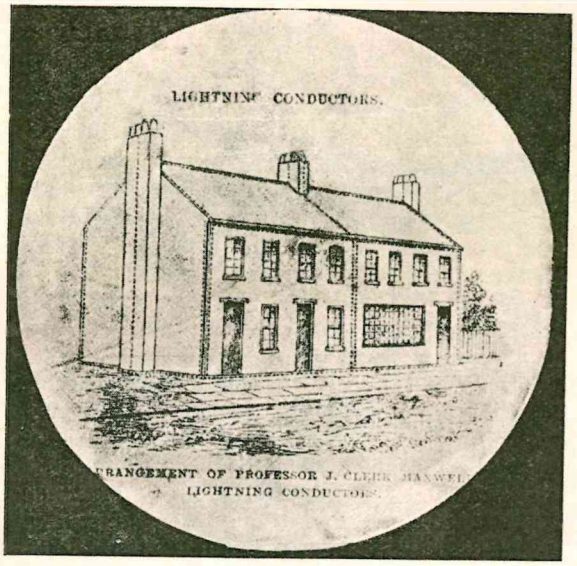
Reikia vienok pasakyti, kad aprašytas čia perkūnlaidžių įrengimas nesuteikia absoliutinės garantijos namams apdrausti nuo žaibo. Kada Franklinas išdirbo aprašytą čia schemą, tuomet nebuvo žinomi du labai svarbūs dalykai, būtent: periodinis elektros išlydžio būdas ir saviindukcijos arba elektromagnetinės inercijos reikšmė. Šitie dalykai buvo išaiškinti jau XIX šimtmečio pirmos pusės pabaigoje. Kad žaibas, kaip ir paprasta elektros kibirkštis, yra periodinis elektros išlydis, galima įrodyti žaibo fotografijomis, atmušant žaibą greitai sukamu veidrodžiu ant fotografinės plokštelės visiškai taip, kaip fotografuojant aprašytu anksčiau Fedderseno metodu išlydžius kibirkštimis. 124 piešinys



124 pieš.

rodo taip nuimtą žaibo fotografiją. Mes čia turime keturius dalinus išlydžius, kurie sudaro žaibą. Žaibo tęsinys čia nedidesnis, kaip 0,5 sekundos ir laikotarpiai tarp dalinų arba parcijalinių žaibų, kurie parodyti čionai juodomis linijomis, sudaro 0,36 sekundos, 0,04 sekundos ir 0,07 sekundos. Kada žaibas susideda iš eilės oscilacijų, ir labai greitų oscilacijų, tai del saviindukcijos veikimo arba del vadinamo impedanso, su kuriuo mes pasipažinsime smulkiau elektromagnetizmo skyriuje, geri laidininkai, kaip varis, gali sudaryti daug didesnio pasipriešinimo žaibui, arba, kitaip sakant, smarkiai kintančiai elektros srovei, kaip blogi laidininkai, ir todel tokiais atvejais labai lengvai gali atsitikti, kad žaibas, sudavęs į perkūnlaidį ir atlikęs tuo perkūnlaidžiu (virpstimi) labai mažą savo kelio dalį, nušoks nuo perkūnlaidžio ir vyks toliau blogais laidininkais, draskydamas ir daužydamas tuos laidininkus ir sudarydamas tuo būdu daug žalos. Tokių atsitikimų žinoma gana daug. Sakysime, žaibas drožia į perkūnlaidžio virpstį dirbtuvės augšto kamino, bet kiek žemiau kamino viršūnės nušoka nuo laidininko, pramuša skylę kamine ir tęsia toliau savo kelią kamino suodžiais. Labai dažnai tokiais atvejais žaibas kaip peilis nupjauna fabriko kamino arba bažnyčios bokšto dalį. Kol nebuvo suprasta saviindukcijos reikšmė (kitaip sakant, elektromagnetinės inercijos reikšmė), buvo rimtai manoma, kad panašių atsitikimų priežastimi yra arba bloga žemė (nepakankamai gilus įleidimas perkūnlaidžio galų į žemę, arba kad ir gilus, tai nepasiekiant pakankamai drėgnos vietos žemėje), arba nepakankamai augštos virpstys, arba bet kurioj perkūnlaidžio tinklo vietoj blogas sujungimas. Bet elektros išlydžių kibirkštimis tyrinėjimai siro Olivero Lodge'o, Hughes'o, Heavisde'o, lordo Rayleigh'o, Pointing'o ir kitų parodė, kad kibirkšties kelias pareina nuo laidininkų saviindukcijos arba jų elektromagnetinės inercijos, ir kad geriausias sujungimas su žeme ir tobulas sujungimas visų perkūnlaidžio tinklo dalių neapsaugos nuo katastrofos, jeigu perkūnlaidį pasieks galingas žaibas labai greitų oscilacijų. Be to, tie tyrinėtojai įrodė, kad Franklino nuomonė, kad tam tikro ilgio arba augščio metalinė virpstis apgina nuo žaibo plotą tam tikro didumo, buvo klaidinga. Remiantis šita Franklino nuomone labai dažnai buvo statomos ilgos virpstys ir statomos dar ir šiandien, manant, kad juo augštesnė virpstis, juo didesnį plotą nuo žaibo ji apgins. Šiandien galima laikyti faktu, kad augštos virpstys ne tik neturi jokios reikšmės, bet yra net pavojingos, nes tokios virpstys gali paskatinti žaibo susidarymą, kur jis visiškai nesusidarytų, jeigu nebūtų virpsties. Todel šiandien, vartojant virpstis, reikia imti jų kiek galima daugiau, bet tų virpsčių ilgiai neturi būti didesni, kaip augščiausias stogo iškyšulys.

Daug daugiau šansų išvengti nurodytiems čia žaibo klaidžiojimams duoda kita perkūnlaidžio sistema, Clerko Maxwellio patiekta, kurią atvaizduoja 125 piešinys. Šita sistema remiasi tuo žinomu faktu, kad elektros įlydžiai susitaupo ant išorinio laidininko paviršiaus ir laidininko vidury nėra jokio įlydžio. Taigi aptraukę namus tinklu iš vielos mes jį geriausiai apginsime nuo kenksmingo žaibo veikimo. Tiktai esant perkūnijai nereikia eiti iš tokių namų arba žengti į juos, nes galima smarkiai nukentėti. Vietoj virpsčių galima pavartoti spygliuota viela, nes daugybė tos vielos smailgalių veikia daug tikriau ir geriau išlydant debesį, kaip visa eilė augštų virpsčių. 125 piešinys rodo tokį spygliuotos vielos tinklą apie visą trobą. Savaime suprantama, kad ir šitas tinklas turi būti nuvestas, kiek galima, giliau į žemę ir daugybe šakų sujungtas su drėgnu žemės sluogsniu. Vartojant tokį tinklą negalima jungti su juo metalinių dalių trobos vidury. Reikia pasakyti, kad šita Maxwellio sistema išimtinai vartojama apginti nuo kenksmingo žaibo veikimo sprogstamos medžiagos dirbtuvėms ir sandėliams ir, aplamai, degamos medžiagos sandėliams. Reikia tik imti tinklas, kiek galima tankesnis, o dažnai net ir dvigubas tinklas. Pridursime dar, kad rengiant perkūnlaidį, nereikia jungti prie jo balkonų, nes žmogus, atsistojęs ant balkono, kaip tiktai galėtų suvaidinti virpsties rolę. Patariama stogo lietaus latakas abiem galais prijungti prie perkūnlaidžio. Kai del medžiagos, tai nėra reikalo vartoti brangus varis, ir galima drąsiai vartoti geležis, kuri yra daug pigesnė, ypač turint galvoj, kad veikiant greitų oscilacijų žaibui elektros srovės veikia tik paviršutiniuose metalo sluogsniuose, taip kad nėra jokio reikalo imti geras laidininkas Vietoj storos geležies vielos arba storo geležies stiebo geriau imti pluoštas atskirų plonesnių vielų; šituo atveju atspara visokiems atmosferos chemiškiems veikimams kad ir mažesnė būna, bet vielų pluoštas geriau garantuoja nepavojingą išlydį, kaip stiebas. Pagaliau, dujų tinklas visuomet geriau sujungti su žeme, kiek galint giliau, atskirai nuo perkūnlaidžio.



125 pieš.

Kas nori įsigilinti į šituos dalykus, tepaskaito siro Olivero Lodge'o puikiai parašytą knygą anglų kalba: „Lightning Conductors and Lightning Guards" (Žaibo laidininkai ir apsaugojimas nuo žaibo). Mūsų trumpai aprašytas perkūnlaidžio įrengimas remiasi ta knyga. Taigi, baigsime šitą paragrafą ištrauka iš nurodyto siro Olivero Lodge'o rašto, kur suteikiama praktiškų patarimų sąryšy su namų apsauga nuo žaibo (minėto veikalo 71, 72 puslapiai):

„Dažnai mums teks pasitenkinti paprastos galvanizuotos geležies stiebu arba linu perkūnlaidžio tinklui. Tuomet mes neturėsime absoliutinės garantijos, bet visgi bus pakankamai šansų išvengti katastrofai. Bet ką galime rekomenduoti dideliems ir svarbiems pastatams, dirbtuvių kaminams ir bokštams ir, pagaliau, parako sandėliams? Aš norėčiau ne tiek varyti propagandos savo paties nusistatymui, kiek atkreipti dėmesio į principinę šito klausimo pusę. Aš nematau jokios žalos, siūlydamas vartoti vietoj storų stiebų ir vielų didesnį skaičių paprastų telegrafo vielų. Manau, kad tam tikras skaičius plonų vielų yra geresnis ir tikresnis, kaip viena stora viela. Reikia tik padidinti šitų vielų talpumas, sujungiant su jomis didesnės metalinės masės, kaip antai, stogo metalas ir panašūs (nes oscilacijų periodas $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Čia C reiškia tal-

pumą. Padidinę talpumą, mes padidinsime oscilacijų periodą, kitaip sakant, sumažinsime žaibo oscilacijų dažnumą ir tuo būdu padarysime žaibą mažiau pavojingą). Bet reikia rūpestingai sujungti visos metalinės dalys, padaryti toks sujungmas, kiek galint, didesniame skaičiuje vietų, nes kitaip gali susidaryti kibirkščių. Balkonai ir kitos pastato išsikišusios ir prieinamos vietos neturi būti jungiamos su perkūnlaidžio tinklu

Perkūnlaidžio sujungimas su žeme turi būti padarytas, kiek galint, giliau, kad būtų išvengta sudraskymo žemės paviršiaus, pastato pamatų, vandens ir dujų magistralių. Visi stogo kampai, krantai, briaunos reikia apsupti spygliuota viela, kad susidarytų, kiek galint, daugiau išsikišusių aštrumų. Augštesnės namų dalys reikia skyrium aprūpinti virpstimis; bet nėra jokio reikalo imti augštesnių virpsčių, kaip augščiausios trobos vietos, nes nėra jokio reikalo skatinti žaibo susidarymą, ir tas yra tik prietaras tikėti, kad virpstis apginanti nuo žaibo tam tikrą namų plotą.

Laidininkai reikia imti pakankamo skerspjūvio ploto, kad būtų išvengta jų sutirpinimo arba deflagracijos nuo žaibų. Bet nėra jokio reikalo imti perstori laidininkai, atsimenant, kad daugiausia šansų sutirpti turi tik ta laidininko vieta, į kurią žaibas trenkia."

Taigi, šiandien perkūnlaidžio įrengimas atrodo daugeliu atvejų kitoks, koks jis buvo Franklino sumanytas. Bet visgi Franklinui priklauso perkūnlaidžio ideja ir dėka jo energijos buvo pastatyti pirmieji perkūnlaidžiai. Reikia vienok pasakyti, kad ir Franklinui teko susidurti su žmonių tamsumu ir prietarais. Pirmutinį perkūnlaidį jis mėgino pastatyti pats ant vienų namų Filadelfijoje, bet Filadelfijos protestantai palaikė tai Visagalio įžeidimu, ir minia sugriovė visą Franklino įtaisymą. Pats Franklinas turėjo pasislėpti, kad išvengtų smurto. Ir, tiktai nuvykęs į Paryžių, sėkmingai realizavo savo idėją, pastatęs pirmąjį perkūnlaidį ant Versalės rūmų.

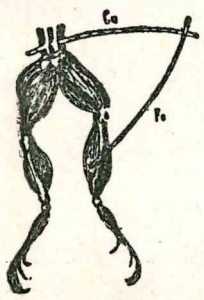
Elektrodinamika.

11 §. Galvani'o pastebėjimas (1780). Voltos bandymai. Kontakto elektra ir jos dėsniai. Voltos arba Galvani'o elementas. Voltos stulpas. Elektroskopas su stulpu. Galvaninė srovė. Galvaninio elemento elektros energijos išteklius. Galvaninė batarėja. Galvaninė polarizacija. Depolarizatoriai. Pastovūs galvaniniai elementai.

3—10 §§ yra duota elektros mokslo apžvalga, kaip jis plėtojosi nuo seniausių laikų ligi XIX šimtmečio antros pusės pradžios. Pagrindiniai elektros mokslo dydžiai, kaip elektros kiekis, elektros įtempimas, elektros potencialas ir talpumas nustatyti ten remiantis elektros savybėmis pusiausvyros būklėje ant laidininkų paviršių. Taigi išdėstyta minėtuose paragrafuose elektros mokslo dalis sudaro elektrostatikos skyrių. Elektros judėjimas arba elektros srovė buvo vos tik paliesta tuose paragrafuose kalbant apie elektros įlydžio pasidalijimą tarp įvairių laidininkų ir apie elektros išlydį. Sujungus laidininku du konduktorius įvairaus potencialo, tų konduktorių įlydžiai pasidalija taip, kad jų potencialai išsilygina. Pasidalijimas visuomet įvyksta tuo būdu, kad +elektra slenka iš vietų augštesnio potencialo į vietas žemesnio potencialo per konduktorių jungiamąjį laidininką, o —elektra iš vietų žemesnio potencialo į vietas augštesnio potencialo, taip kad tuo pačiu laiku per laidininko skerspjūvį visur pereina tas pats kiekis +elektros viena prasme ir —elektros priešinga prasme. Tokiu būdu pasidalijant elektrai ir išsilyginant potencialų skirtumui mes visuomet turime elektros judėjimą arba elektros srovę, surištą su priešingų elektrų neutralizacija. Šita dinaminė elektros būklė griežtai skiriasi nuo statinės būklės ir turi savo dėsnius. Bet tai dinaminei elektrai

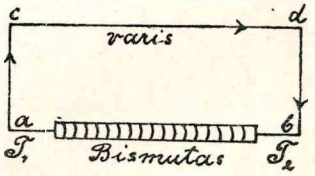
ištirti reikia turėti didesni elektros kiekiai, kaip tie elektros kiekiai, su kuriais tenka turėti darbo elektrostatikoje. Kaip jau mes matėme 10 §, net ir didelio žaibo elektros kiekis yra, sulyginti, nedidelis, nuo 70 ligi 200 kulonų, o jau elektros mašinos kibirkšties arba Leydeno bonkos kibirkšties elektros kiekiai yra daug kartų mažesni. Vienu žodžiu, elektrostatikoje mes turime darbo su dideliais potencialais, su dideliais elektros įtempimais, bet su mažais elektros kiekiais. Šitame paragrafe mums teks pasižinti su kai kuriais pastebėjimais ir išradimais, padarytais XVIII šimtmečio pabaigoje, kurių dėka kilo dinaminės elektros mokslas, arba elektrodinamika, kuri iš savo pusės žymiai praplėtė mūsų supratimą elektros fenomenų ir davė didelės vertės elektros pritaikymų gyvenimui.

Pabaiga XVIII šimtmečio pasižymi dideliu susidomėjimu elektros reiškiniais ne tik tarpe mokslininkų, bet ir diletantų. Kiekvienas, kas tik galėjo, darė įvairiausių bandymų su elektra, gamindamas tą elektrą daugiausia su pagalba elektros trynimo mašinų. Kai kurie mokslininkai manė, kad tarp gyvasties pasireiškimų ir elektros pasireiškimų esama esminių santykių ir darė bandymų, norėdami surasti vadinamą gyvasties elektrą. Prie tokių mokslininkų priklausė ir anatomijos profesorius Bolonijos (Bologna, Italijoj) universitete Aloysio Galvani's. 1780 metais jis pripuolamai pastebėjo šitokį dalyką. Prie geležinių balkono turėklių jis prikabino ant kabliuko varinėmis vielomis keletą šviežiai preparuotų varlių kinkų su blauzdomis išdžiovinti. Jis pastebėjo, kad svyruojant kinkoms nuo vėjo ir paliečiant joms balkono geležinius turėklius, jos susitraukia taip pat, kaip gyvos varlės kinkos dirginant varlės nervus. Jis iš pradžios manė, kad tai yra atmosferos elektros veikimo vaisius, bet tolimesni pastebėto reiškinio nagrinėjimai įtikino jį, kad varlės kinkos susitraukimas nieko bendro neturi su atmosferos elektra. Taro kita ko jis konstatavo, kad sujungiant metaline viela, kaip rodo 126 piešinys, šviežiai preparuotos varlės stuburkaulio nervus su kinkos muskulais, varlės kojos susitraukia. Jis gavo žymiai smarkesnį efektą sujungdamas varlės stuburkaulio nervus ir kinkos muskulus lanku, kurio viena dalis buvo iš vieno metalo, o antroji — iš kito metalo. Šitas eksperimentas aiškiai rodo, kad varlės muskulų susitraukimas šituo atveju nepareina nuo atmosferos elektros. Taigi Galvani's manė, kad čia veikia, taip sakant, savoji varlės elektra (šviežiai užmuštos varlės, kol dar gyvasties jėgos ne visiškai išnyko), žiūrėdamas į varlės nervus ir muskulus, kaipo į du laidininkus įvairaus elektros potencialo, arba kaipo į du pamušalus kondensatoriaus, kurie užtaisyti gyvasties elektra, o į metalinį lanką, jungiantį nervus su muskulais, kaipo į elektros iškroviklį, su kurio pagalba iškraunamos Leydeno bonkos. Nuo to laiko Galvani's labai daug rūpinosi klausimu vadinamos gyvasties elektros, ir yra atlikęs daugybę bandymų, bet gi ne labai vaisingų.



126 pieš.

Aprašytais čia Galvani'o bandymais susidomėjo jo tautietis, gimnazijos fizikos mokytojas, Como mieste, Italijoje, Aleksandras Volta. 1780 — 1782 metais jis atkartojo Galvani'o bandymus įvairiais variantais ir remdamasis tais bandymais priėjo išvadą, kad Galvani'o efektas nieko bendro neturi su vadinama gyvasties elektra ir yra išdava kontakto elektros, kuri susidaro dviejų skirtingų metalų kontakto vietoje. Volta pirmutinis įrodė, kad sudarius kontaktą tarp dviejų skirtingų metalų ir perskyrus juos, ant vieno iš tų metalų būna teigiama elektra, o ant kito neigiama elektra, kitaip sakant Volta įrodė, kad vien tik kontaktu galima elektrifikuoti metalus. Bet tai irodyti yra nelengvas dalykas, nes elektros kiekiai, kurie susidaro ant metalų paviršių kontaktų, yra labai maži, ir Voltai teko pasinaudoti ypatingos konstrukcijos elektroskopais, kad šituos elektros kiekius galėtų konstatuoti. Vieną iš tokių elektroskopų atvaizduoja 128 piešinys. Tai yra elektroskopas su kondensatorium. Čia ant elektroskopo stiebo galo vietoj rutulio mes turime apskritą metalinę lėkštę, kurios paviršius lakiruotas. Kita tokia pat lėkštė lakiruotu paviršium galima uždėti ant pirmosios lėkštės. Tada mes



127 pieš.

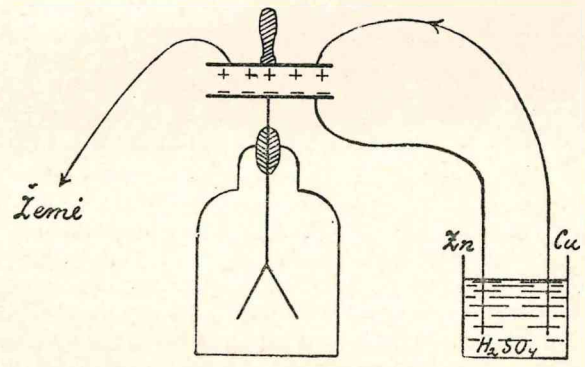
turėsime plokštelių kondensatorių, sujungtą su elektroskopu. Šita antra plokštelė reikia aprūpinti kotu, padirbtu iš izoliuojamos medžiagos. Bandomieji metalai imami irgi nedideli skrituliai, aprūpinti kotais iš izoliuojamos medžiagos (geriausia iš lako arba iš ebonito). Paliesime du metalus, sakysime, cinką ir varį, vieną antruoju ir, perskyrę juos, paliesime, sakysime, cinku apatinę kondensatoriaus plokštelę, sujungę prieš tai su žeme viršutinę kondensatoriaus plokštelę. Nukeldami dabar viršutinę kondensatoriaus plokštelę mes pastebėsime elektroskopo lapelių persiskyrimą, nors ir labai silpną, ir galėsime įrodyti, kad apatinė kondensatoriaus plokštelė turi teigiamą elektros įlydį. Liečiant apatinę kondensatoriaus plokštelę variu galima įrodyti, kad tuo atveju apatinė plokštelė gauna neigiamą elektros įlydį. Bet reikia pasakyti, kad šitie įlydžiai labai maži, ir kad aprašytu čia kondensatorium nelengva įrodyti tų įlydžių buvimą. Bet šitam paragrafe mes pasižinsime su kondensatorium dar kitos konstrukcijos, kuris yra dar daug jautresnis ir kuriuo galima įrodyti, kad kontaktu dviejų skirtingų metalų ant jų susidaro priešingų ženklų elektros įlydžiai. Remdamasis savo bandymais Volta nustatė vadinamą metalų elektriško įtempimo eilę. Šita eilė atrodo šitaip: cinkas, alavas, geležis, švinas, varis, auksas. Paėmus bet kuriuos du metalus iš šitos eilės, ir sudarius tarp jų kontaktą, pirmasis užtaisomas teigiamai, o antrasis neigiamai, ir potencialų skirtumas tarp dviejų metalų būna juo didesnis, juo toliau tie du metalai randasi eilėje vienas nuo antrojo, taip kad šitoje eilėje didžiausias potencialų skirtumas ir, vadinasi, smarkiausias efektas reiškiasi tarp cinko ir aukso. Jau čia krinta į akis analogija tarp šitos metalų elektriškos eilės ir metalų chemiškos eilės, kurioje metalai padėti sekant jų chemišką giminystę su deguoniu. Galima visi metalai surašyti atžvilgiu jų chemiškos giminystės su deguoniu. Pasirodo, kad taip surašyta metalų eilė bus ir jų elektriško įtempimo eilė, būtent: sudarius kontaktą tarp dviejų bet kurių metalų, tasai metalas, kuris smarkiau jungiasi su deguoniu, bus užtaisytas teigiamai, o tas metalas, kuris jungiasi su deguoniu silpniau, bus užtaisytas neigiamai. Bet Volta iš pradžios neatkreipė dėmesio į šitą santykį tarp chemiškų ir elektriškų jėgų ir pasitenkino paprastu fakto konstatavimu, kad kontaktu metalai įelektrinami priešingai.

Kita svarbi išvada, kurią yra padaręs Volta iš savo bandymų kontakto elektros, yra ši: jeigu sudarytume atdarą grandinę iš visos eilės metalų, tai potencialų skirtumas tarp kraštutinių metalų bus lygus sumai potencialų skirtumų tarp metalų porių iš eilės. Tegu mes turime eilę metalų A, B, C, D ir t. t. Pažymėsime potencialų skirtumus tarp porių iš eilės ženklais: A|B, B|C ir t. t. Tad mes turime: A|B + B|C + C|D + ... + P|Q = A|Q. Taigi, jeigu dabar sujungsime paskutinį metalą Q su pirmuoju metalu A, tai mes gausime uždarytą grandinę, kurioje suma potencialų skirtumų bus lygi 0, vadinasi, gausime tokią grandinę, kurioje negali būti jokios elektros srovės, ta vienok sąlyga, jeigu temperatūra visur toje metalų grandinėje bus ta pati. Iš tikrųjų potencialų skirtumas eilėje A, B, C, D ir t. t. tarp metalų A ir Q yra lygus A|Q. Uždarydami grandinę metalu Q mes turėsime potencialų skirtumą tarp metalų Q ir A Q|A. Aišku, kad potencialų skirtumai A|Q ir Q|A yra to paties didumo, bet priešingų ženklų, ir todel jų suma yra lygi nuliui.

Bet jeigu metalai, kurie sudaro uždarytą grandinę, nėra tos pačios temperatūros, kitaip sakant, jeigu bet kurių dviejų metalų kontakto vietoje temperatūra skiriasi nuo kitų kontakto vietų, tai tada suma potencialų tokioje grandinėje yra didesnė kaip nulis. Vadinasi, mes tada turime skirtumą potencialų dviejose grandinės vietose arba elektrovaromąją jėgą didesnę kaip nulis, ir todel tokioje grandinėje turime elektros srovę, kuri šituo atveju vadinasi termosrovė, nes toki sistema yra ne kas kita, kaip mašina, kurioje šilima pereina į elektros energiją. 127 piešinys atvaizduoja tokį termoelementą. Mes čia turime grandinę, sudarytą iš dviejų metalų: bismuto (ab) ir vario (cd). Tegu absoliutinė temperatūra T_1 kontakto vietoje a vario ir bismuto bus augštesnė kaip absoliutinė temperatūra T_1 kontakto vietoje b. Tad šitoje grandinėje teka elektros srovė (+ elektra), kaip rodo iešmos, būtent, nuo kontakto augštesnės temperatūros į kontaktą žemesnės temperatūros. Šitą faktą konstatavo 1821 metais Seebeck'as. Pa-

našiais atvejais potencialų skirtumas arba elektrovaromoji jėga yra proporcinga temperatūrų skirtumui, vadinasi, $E = k(T_1 - T_2)$, jeigu mes elektrovaromąją jėgą pažymėsime raide E ir proporcingumo veiksnį pažymėsime raide k. Tasai faktas drauge su augščiau formuluotu Voltos dėsniu yra būtina išvada iš energijos išlaikymo dėsnio, nes jeigu uždarytoje grandinėje iš metalų tos pačios temperatūros būtų elektros srovė, tai ta srovė, kaip mes jau žinome, sudarytų laidininkuose šilimą ir, vadinasi, tuo atveju mes galėtumėm gauti neapribotų šilimos kiekių, neatlikdami jokio darbo, o vien tik metalų kontaktu, ir tuo būdu turėtumėm „Perpetuum Mobile" pirmos rūšies. Antra vertus, jeigu per sistemą, kurią atvaizduoja 127 piešinys, paleistume elektros srovę, tai bismuto ir vario kontakto vietose a ir b būtinai susidarytų temperatūrų skirtumas.

Volta savo eksperimentais konstatavo, kad jo dėsnis neveikia ir tuo atveju, kada uždaryta grandinė sudaryta iš laidininkų tos pačios temperatūros, bet sudaryta taip, kad toje grandinėje randasi ne tik metalai, bet ir skysčiai, kurie leidžia elektrą. Prie tokių skysčių reikia priskaityti visų pirma rūgščių, šarmų ir druskų tirpalus vandeny, bet ir kai kuriuose kituose skystimuose, kaip spiritas, benzolas ir t. t. Taip pat kietos prie paprastų temperatūrų rūgštys, druskos ir šarmai darosi gerais elektros laidininkais prie augštų temperatūrų, vadinasi, skystoje būklėje. Taigi, jeigu į grandinę, sudarytą iš metalų, bus įterptas kūnas iš nurodytų skysčių, tai suma potencialų tokios uždarytos grandinės bus didesnė kaip nulis, ir mes turėsime tokioje grandinėje elektros srovę. Todel Volta pats jau padarė skirtumą tarp metalų ir nurodytų skysčių. Metalus jis pavadino laidininkais I-os rūšies, o rūgščių, šarmų ir druskų vandens tirpalus arba rūgštis, šarmus ir druskas, ištirpintas prie augštų temperatūrų, laidininkais antros rūšies. Mes vėliau pamatysime, kad tarp šitų dviejų rūšių laidininkų yra ir kitų esminių skirtumų. Eidamas šita išvada Volta padirbo paprastą aparatą, kuris yra išteklius elektros energijos, ir duoda, sulyginti, su elektrostatinėmis mašinomis, didelių elektros kiekių prie mažo potencialų skirtumo. Paprasčiausia forma tasai Voltos aparatas yra sudėtas iš stiklo indo, į kurį įpilta sieros rūgštis, praskiesta vandeniu, įleidžiant į tą skystimą dvi metalines plokšteles: vieną iš cinko, antrą iš vario. Tokiomis sąlygomis, kaip įrodė Volta, cinkas įgyja neigiamo potencialo, o varis teigiamo, ir, jeigu cinko ir vario galus sujungsime viela iš vario arba iš kito kokio metalo, per vielą nuo vario į cinką tekės + elektra, o skystime + elektra tekės nuo cinko į varį;—elektra tekės priešinga kryptimi. Taigi mes čia turime sudarytą iš laidininkų I ir II rūšies uždarytą grandinę, kurioje visą laiką teka elektros srovė. Toki kombinacija vadinama Voltos elementu, bet dažnai ji vadinama Galvani'o elementu, arba galvaniniu elementu, nes patsai to elemento išradėjas Volta pasiūlė taip pavadinti, kad būtų pagerbtas Galvani's, kurio pastebėjimas elektros proceso šviežiai preparuotose varlės kinkose tapo akstinu aprašytų labai svarbių Voltos tyrinėjimų. Įrodyti, kad tokiomis sąlygomis cinkas įgyja — įlydį, o varis + įlydį, Volta pasinaudojo elektroskopu su kondensatorium, nes tokiu būdu bus padidintas elektroskopo talpumas ir, vadinasi, prie to paties potencialo mes suteiksime elektroskopui didesnį elektros kiekį. 128 piešinys atvaizduoja schemą Voltos bandymo. Sujungsime viršutinę lėkštę su žeme ir prijungsime metalinėmis vielomis Voltos elemento arba galvaninio elemento varį prie viršutinės lėkštės, o cinką prie apatinės lėkštės. Čia apatinė lėkštė bus kondensatoriaus kolektorius. Nukeldami viršutinę lėkštę mes pastebėsime, kad elektroskopo lapeliai persiskirs, ir žinomu jau mums būdu galėsime konstatuoti, kad jiems suteikta — elektra. Vadinasi, cinkas suteikia apatinei konden-



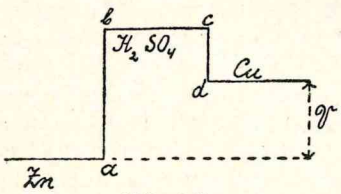
123 pieš.

satoriaus lėkštei — elektrą. Jeigu mes išlydysime kondensatorių, uždėsime vėl viršutinę lėkštę ant apatinės lėkštės ir sujungsime dabar galvaninio elemento varį su apatine lėkšte, o cinką su viršutine lėkšte, tai nukeliant vėl viršutinę lėkštę lapeliai persiskirs ir mes galėsime konstatuoti, kad jiems dabar suteikta + elektra. Vadinasi, vario plokštelė turi + įlydį. Kol viršutinė lėkštė randasi ant apatinės, sakysime, cinko — elektra surišta vario + elektra ir todel lapeliai nepersiskiria. Bet nukeldami viršutinę lėkštę mes padarome laisvą elektrą apatinės lėkštės ir tada lapeliai persiskiria. Volta šitais savo eksperimentais įrodė dar, kad potencialų skirtumas jo elemente visiškai nepareina nuo cinko ir vario plokštelių didumo ir, aplamai, nuo paties elemento didumo. Paėmę didelį stiklo indą su dideliu kiekiu sieros rūgšties tirpalo ir įleidę didelius cinko ir vario lapus, mes gausime tarp cinko ir vario tą patį potencialų skirtumą, kaip ir paėmę nedidelį stiklo indą ir įleidę į skystimą jame cinko ir vario plonas vielas. Taigi, turėdami tokį elementą ir sujungę cinką ir varį metaline viela, mes grandinėje visą laiką turėsime elektros srovę. Cinkas tokiam elemente vadinasi neigiamu elektrodu, arba katodu, o varis teigiamu elektrodu, arba anodu (eletrodas,—žodis paimtas iš graikų kalbos ir reiškia elektros takas). Dažnai du elektrodu, aprūpintu vielomis arba metaliniais spaustuvais, vadiname elektros poliais. Taigi, išradęs savo elementą, Volta galutinai interpretavo Galvani'o pastebėjimą ta prasme, kad šviežiai preparuotos varlės kinkos vaidina tik jautraus elektroskopo rolę, o elektros srovės išteklius yra du skirtingi metalai, kurie randasi kontakte su varlės kinkos skystimu. O tas skystimas yra ne kas kita, kaip druskos skiedinys, vadinasi, antros rūšies laidininkas. Vienu žodžiu, lankas iš dviejų skirtingų metalų kontakte su varlės nervais ir muskulais, yra uždaryta grandinė, sudaryta iš dviejų laidininkų pirmos rūšies ir laidininko antros rūšies (varlės skystimas) ir todel šitoje sistemoje reiškiasi elektros srovė. O varlės nervai šitos srovės jaudinami iššaukia muskulų susitraukimą, ir tokiu būdu rodo elektros tekėjimą per grandinę. Reikia vienok pasakyti, kad ir Galvani'o nuomonė apie buvimą vadinamos gyvasties elektros buvo ne be pamato, nes pačiam Galvani'ui pasisekė įrodyti potencialų skirtumą tarp muskulų ir nervų. Vėlesniais laikais buvo konstatuota, kad ne tik muskulų susitraukime, bet ir kituose biologiniuose pasireiškimuose vadinama gyvasties elektra turi didelės reikšmės. Bet tai visiškai negriauna tos interpretacijos, kurią Volta davė Galvani'o pastebėjimui.

Volta manė, kad jo elemente srovės išteklius yra potencialų skirtumai, kurie susidaro iš vienos pusės cinko ir rūgšties kontakto vietoje, o iš antros pusės vario ir rūgšties kontakto vietoje. Taigi jis manė, kad ir čia veikia kontakto elektra, kaip ir tuo atveju, kada du skirtingi metalai betarpiškai liečia vienas antrą. Bet Volta pats konstatavo, kad sudarant kontaktą tarp dviejų skirtingų metalų betarpiškai gaunama labai mažas potencialų skirtumas ir visuomet ta prasme, kaip išeina iš duotos metalų įtempimo eilės. Vadinasi, esant betarpiam kontaktui cinkas užsitaiso teigiamai, o varis neigiamai. Tuo tarpu cinko ir sieros rūgšties kontaktu cinkas užsitaiso neigiamai, o rūgštis teigiamai. Volta manė, kad kontaktu varis užsitaiso teigiamai, o sieros rūgštis neigiamai. Bet vėliau buvo įrodyta, kad kontakto vietoje vario ir sieros rūgšties ir, aplamai, bet kurio metalo ir laidininko antros rūšies, ant metalo paviršiaus atsiranda — elektra, o ant antros rūšies laidininkų atsiranda + elektra. Tiktai, sakysime, potencialo kritimas nuo rūgšties į varį yra žymiai mažesnis, kaip nuo rūgšties į cinką ir, tik sujungus cinką ir varį viela, varis nuolat rodo + įlydį, o cinkas nuolat rodo — įlydį.

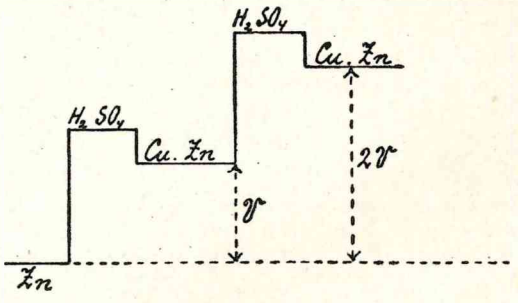
Pasinaudosime 129 piešinio schema, kad išaiškintume potencialų santykius, kurie veikia galvaniniam elemente. Čia cinkas ir varis atvaizduoti linijomis Zn ir Cu, o sieros rūgštis atvaizduota linija bc. Tos trys linijos parodytos čia įvairiuose augščiuose, kad būtų pažymėti potencialų kritimai tarp rūgšties ir cinko iš vienos pusės ir tarp rūgšties ir vario iš antros. Pirmasai potencialų kritimas atvaizduotas čia vertikaline linija ba, ilgesne kaip vertikalinė linija cd, kuri atvaizduoja potencialo kritimą tarp rūgšties ir vario. Aišku, kad linija V, pažymėta ieśmomis, kuri yra lygi skirtumui linijų ba ir cd, duoda potencialų skirtumą tarp cinko ir vario. Kada cinkas ir varis nesujungti viela, cinko ir rūgšties kontakto vietoje mes turime dvigubą elektros sluogsnį: — elektrą

ant cinko ir + elektrą ant rūgšties paviršiaus. Taigi, mes turime čia tam tikro didumo potencialo kritimą nuo sieros rūgšties į cinką. Tarytum, kontakto vietoje veikia kažkokios jėgos, kurios stengiasi perskirti abidvi elektras, ir skiria tas elektras tol, kol tos jėgos bus kompensuotos traukos jėga tarp + ir — elektrų. Tą patį mes turime ir kontakto vietoje vario ir rūgšties. Vadinasi, ir čia mes turime dvigubą elektros sluogsnį: — elektrą ant vario ir + elektrą ant sieros rūgšties paviršiaus. Čia irgi veikia kažkokios jėgos, kurios stengiasi perskirti abidvi elektras ir skiria jas tol, kol tos jėgos nebus kompensuotos elektrostatiška trauka. Bet, kaip rodo 129 piešinio schema, potencialo kritimas sieros rūgšties ir cinko kontakte yra didesnis kaip potencialo kritimas sieros rūgšties ir vario kontakte. Kitaip sakant, neigiamas potencialas cinko yra didesnis kaip neigiamas potencialas vario. Taigi, sujungus cinką ir varį metaline viela — elektra tekės per vielą nuo cinko į varį, o rūgštyje nuo vario į cinką. + elektra tekės priešingai: per vielą nuo vario į cinką, o rūgštyje nuo cinko į varį. Taigi, sujungus varį ir cinką viela, tuojau vario—elektra bus neutralizuota pritekančia iš rūgšties + elektra ir varis bus įlydytas teigiamai, ir tokią dalykų padėtį mes turėsime visą laiką, kol cinkas ir varis bus sujungti viela. Dalykas čia tas, kad pritekant — elektrai iš cinko į varį, pusiausvyra tarp skiriančių elektrą jėgų ir elektrostatinės traukos kontakte varis — sieros rūgštis bus panaikinta ir visą laiką ant vario iš rūgšties bus išvaroma + elektra, taip kad visą laiką mes turėsime tam tikrą dinaminę padėtį, surištą tam tikru + potencialu vario ir — potencialu cinko, tokiu būdu potencialų skirtumas tarp vario ir cinko bus irgi visą laiką tam tikro didumo. Tasai potencialų skirtumas, einant Voltos kontakto teorija, yra lygus algebrinei sumai potencialų skirtumų kontakto vietose ir jis galima išreikšti: $Zn \mid H_2 So_4 + H_2 So_4 \mid Cu + Cu \mid Zn$. Čia $Zn \mid H_2 So_4$ reiškia potencialų skirtumą arba potencialo kritimą kontakte cinko su sieros rūgštimi, $H_2 So_4 \mid Cu$ kontakte sieros rūgšties su variu ir $Cu \mid Zn$ kontakte vario su cinku (žiūr. vario viela, jungianti varį ir cinką, 129 piešinys). Galima šitam elementui suteikti bet kuris išorinis potencialų skirtumas arba potencialas. Tatai atatinkamai pakels arba numuš potencialo kritimus atskirose kontakto vietose, bet potencialų skirtumas tarp cinko ir vario pasiliks be atmainos.



129 pieš.

Paimsime dabar visą eilę Volto elementų (žiūr. 128 piešinys) ir sujungsime juos taip: varį pirmojo elemento sujungsime su cinku antrojo elemento vario viela, varį II-jo elemento sujungsime su cinku III-jo elemento ir t. t., taip kad pasiliks nesujungti cinkas I-jo elemento ir varis paskutinio elemento. Toksai elementų sujungimas vadinasi sujungimas iš eilės, arba serija. Pažymėsime potencialų skirtumą arba elektrovaromąją jėgą vienam elementui raide V ir tegu mes turime iš viso n elementų, sujungtų iš eilės. Tad potencialų skirtumas tarp cinko I-jo elemento ir vario n-tojo elemento bus nV. Sujungti taip elementai sudaro vadinamą galvaninę batarėją, su kurios pagalba galima gauti gan didelis potencialų skirtumas arba elektrovaromoji jėga. Vartojant šitą paskutinį terminą reikia vienok turėti galvoj, kad jis netikslus, nes jėga yra lygi potencialo kritimui arba potencialų skirtumui padalijus į atokumą, tuo tarpu čia mes vadiname jėga tik potencialų skirtumą. Bet šitas terminas tiek įsigalėjo galvanizmo srityje, kad mes ji vartosime ir toliau.

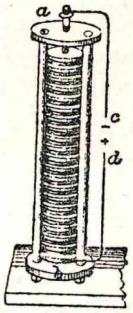


130 pieš.

130 piešinio schema duoda paaiškinimą, kaip susidaro potencialų skirtumas, jungiant iš eilės elementus. Čia, kaip ir schemoje 129 piešinio, gulsčiomis linijomis atvaizduotos potencialų lygmės arba ekvipotencialiniai paviršiai cinko, sieros rūgšties,

vario ir t. t., o vertikalinėmis linijomis atvaizduoti potencialų skirtumai arba potencialo kritimai kontaktuose. Tarp cinko ir vario I-jo elemento mes turime potencialų skirtumą, atvaizduotą vertikaline punktyrų linija V. Prijungę prie vario I-jo elemento cinką antrojo, mes tam antrojo elemento cinkui suteiksime tokį pat potencialą, kaip turi varis I-jo elemento. Vadinasi, II-jo elemento cinko potencialo lygmė bus augščiau per V kaip I-jo elemento cinko potencialo lygmė. Bet, kaip jau pasakyta, tai nepakeis potencialų skirtumo tarp cinko ir vario II-jo elemento. Bet vario II-jo elemento potencialo lygmė bus dabar augščiau kaip I-jo elemento cinko potencialo lygmė per 2V. Taigi sujungiant varį II-jo elemento su cinku III-jo elemento cinkui bus suteiktas III-jo elemento vario potencialas, vadinasi, 2V, ir todel III-jo elemento cinko potencialo lygmė bus per 2V augščiau kaip pirmojo elemento cinko potencialo lygmė, ir potencialų skirtumas tarp cinko I-jo elemento ir vario III-jo elemento bus dabar 3V. Eidami tokiu būdu, mes galime pasiekti potencialų skirtumą nV tarp cinko I-jo elemento ir vario n-tojo elemento. Šitas būdas potencialų pakėlimo yra panašus į pakėlimą vandens eile siurblių, pastatytų ant įvairių augščių. Pirmuoju siurbliu mes galime pakelti vandenį nuo žemės ligi augščio 10 metrų. Ant šito augščio mes statome antrąjį siurblį ir juo vėl keliame vandenį 10 metrų augščiau, taip kad vanduo jau pakeltas 20 metrų augščiau kaip žemės lygmė. Trečiuoju siurbliu mes pakelsime vandenį dar 10 metrų augščiau, vadinasi 30 metrų augščiau kaip žemės lygmė ir t. t.

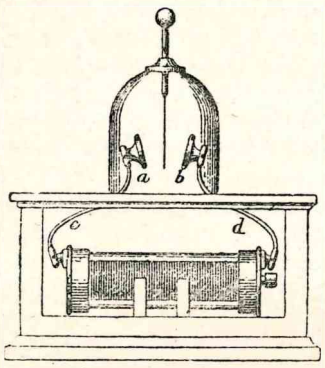
Šituo principu Volta pasinaudojo, kad gautų nedidelių matų, bet gan didelio potencialų skirtumo batareją, patogią įvairiems eksperimentams sekant galvanizmo fenomenus. Toki batareja vadinasi Voltos stulpas ir ją atvaizduoja 131 piešinys. Kiekvienas tos batarejos elementas sudarytas imant cinko ir vario nedideles apskritas plokšteles, arba skritulius, ir sudedant juos padėjus tarp jų sudrėkintą silpna sieros rūgštimi vailoko arba papkės skritulį, kuris ir vaidina čionai antros rūšies laidininko rolę. Pagaminus visą eilę tokių elementų arba porių, jie sudedami vienas ant kito šitaip: ant vario I-jo elemento, uždedamas cinkas II-jo elemento, ant vario II-jo cinkas III-jo ir t. t. Sudėdami tokiu būdu mes gausime vertikalinį stulpą, kurio apatinis skritulys, sakysim, bus iš cinko, o viršutinis iš vario, ir turėsime batareją didelio skaičiaus elementų. Šitas stulpas įtvirtinamas tarp dviejų stiklo stiebų, arba šulų, kuriais kietai sujungiami du mediniai lakiruoti skrituliai a ir b. Kraštutinės stulpo plokštelės arba jo elektrodai (iš apačios cinkas, o iš viršaus varis) aprūpinami metalinėmis klemomis, taip kad tie elektrodai galima sujungti vielomis. Cinko elektrodas čia neigiamas, o vario elektrodas teigiamas. Kadangi vieno tokio elemento arba porio potencialų skirtumas yra apie 1 voltą, tai, sudėję šimtą tokių porių, mes turėsime potencialų skirtumą tarp apatinio ir viršutinio elektrodų apie 100 voltų, ir jau toki batareja, arba toksai stulpas, padeda konstatuoti šitą potencialų skirtumą su pagalba elektroskopo be kondensatoriaus. Sujungę tokio stulpo vieną elektrodą (apatinį arba viršutinį) su žeme, mes suteiksime jam potencialą O. Bet, kaip mes jau žinome, potencialų skirtumas tarp kraštutinių elektrodų (apatinio ir viršutinio) nuo to nepasikeis. Vadinasi, tokiomis sąlygomis potencialas elektrodo, nesujungto su žeme, bus $\pm$ nV, jeigu stulpas sudarytas iš n elementų arba porių ir jeigu vieno porio potencialų skirtumas, arba elektrovaromoji jėga, yra lygi V voltų. Aišku, kad tokiomis sąlygomis potencialas pačiam stulpo vidury (arba batarejos vidury) bus lygus $\pm \frac{1}{2}$ nV. Taigi, jeigu mes sujungsime su žeme stulpo vidurį, tai teigiamo elektrodo potencialas bus $+\frac{1}{2}$ nV, o neigiamo elektrodo $-\frac{1}{2}$ nV, vadinasi, potencialų skirtumas tarp abiejų kraštutinių elektrodų bus $+\frac{1}{2}$nV$-\left(-\frac{1}{2}\text{nV}\right)=$nV. Vadinasi, prijungdami išorinį potencialą toje ar kitoje vietoje (kalbamu atveju žemės potencialą) mes nepakeisime elektrodų potencialų skirtumo (kaip nepakeisime ir potencialų skirtumo atskirų elementų, arba porių). Savo elementą ir aprašytą čia stulpą Volta



131 pieš.

išrado 1796 metais. Kiek vėliau, būtent, 1812 metais, Zamboni's padirbo vadinamą sausą elementą ypatingai paprastu būdu, paėmęs tam reikalui vadinamą auksinį ir sidabrinį popierius. Auksinis popierius yra ne kas kita, kaip popieriaus lapas, aptrauktas ploniausiu vario sluogsniu, o sidabrinis popierius yra popieriaus lapas, aptrauktas ploniausiu alavo sluogsniu. Popierius, kad ir daro sauso daikto įspūdį apčiupomis, visgi yra higroskopiška medžiaga, vadinasi, turi pakankamai drėgnumo. Tuo pačiu laiku popierius turi truputį ir įvairių druskų. Taigi, vadinamas sausas popierius gali tarnauti II rūšies laidininku. Turint pakankamai didelius lapus vadinamų aukso ir sidabro popierių, tie du lapai suklijuojami popierinėmis pusėmis, taip kad iš vienos pusės toksai dvigubas lapas atrodo auksinis, o iš antros — sidabrinis. Dabar, iš taip suklijuoto popieriaus lapo išpjaunama daugybė apskritų skrituliukų, kurie sudedami į vieną stulpą vertikaliai visuomet taip, kad ant sidabrinės (alavo) pusės vieno skrituliuko atsigultų auksinė (vario) pusė kito skrituliuko ir t. t., taip kad apatinis tokio stulpo paviršius bus, sakysime, varinis, o viršutinis alavinis. Čia irgi varinis paviršius bus teigiamu elektrodu, o alavinis paviršius bus neigiamu elektrodu. Aišku, kad mes galime konstruoti tokiu būdu stulpą iš 1000 ir daugiau porių ir turėti potencialų skirtumą tarp kraštutinių elektrodų apie 1000 voltų ir daugiau. Sudarytas aprašytu būdu iš popieriaus skrituliukų stulpas įdedamas į stiklo tūtę, kuri uždaroma iš abiejų galų misinginiais skrituliais. Per tuos skritulius eina klemos, kurios randasi kontakte iš apačios su teigiamu stulpo elektrodu, o iš viršaus su neigiamu, arba atbulai, ir su kurių pagalba galima sujungti abu elektrodu arba poliu vielomis. Aprašytas čia Zamboni'o sausas stulpas yra, sulyginti, nedidelis, lengvas ir patogus vartoti. Reikia dar pridurti, kad potencialų skirtumas jame gali išsilaikyti net dvejus arba trejus metus.

132 piešinys atvaizduoja elektroskopą su Zamboni'o stulpu. Tasai stulpas randasi čia stiklo dėžėje ir nuo jo elektrodų eina per dėžės skyles jos viršuje išlenkti konduktoriai c ir d, kurie baigiasi dviem metaliniais diskais a ir b viršuj dėžės. Šitie diskai uždengti stiklo gaubtuvu. Per skylę viršuje to gaubtuvo prakištas metalinis stiebas su pagalba gintaro movos. Ant viršutinio to stiebo galo randasi metalinis rutuliukas, o prie apatinio jo galo prijungtas plonas tikro sidabro arba tikro aukso lapelis, pakankamai ilgas, taip kad jo galas būtų tarp metalinių diskų a ir b. Konstruotas tokiu būdu elektroskopas yra labai jautrus. Kol rutuliui nesuteikta elektra, sidabro arba aukso lapelis kaba vertikaliai, nes iš pusės disko a jį veikia, sakysim, + elektra, o iš pusės disko b su tokia pat jėga veikia—elektra. Bet, jeigu suteiktume stiebo rutuliui mažiausį kiekį bet kurios elektros, sakysime, + elektros, tai ir lapelis bus užtaisytas teigiamai. Vadinasi, jis bus stumiamas nuo disko a ir tuo pačiu laiku traukiamas prie disko b. Taigi jis žymiai atsilenks nuo vertikalinės pusiausvyros būklės, suteikus jam mažiausį elektros kiekį. Todel tokiu elektroskopu galime lengvai įrodyti ne tik elektros įlydžius ant metalų, įmerktų į rūgštį, bet ir tokius silpnus elektros įlydžius, kurie susidaro palietus du skirtingus metalus vieną antruoju. Reikia pasakyti, kad kontakto elektra yra tiek silpna, kad ilgą laiką fizikai abejojo, ar aplamai yra toks dalykas, kaip kontakto elektra. Iš tikrųjų, metalai smarkiai okliuduoja įvairias dujas, jų paviršiai dažnai būna drėgni, ir todel, sudarius tarp jų kontaktą ir gavus elektrišką efektą, kįla klausimas, ar tas efektas yra paprasto kontakto efektas, ar jis yra išdava kombinacijos dviejų metalų su laidininku antros rūšies. Šiandien laikoma faktu, kad dviejų skirtingų metalų kontaktu galima gauti elektriškas efektas, nors to efekto prigimtis dar ir nėra galutinai nustatyta.



132 pieš.

Volta manė, kad ir jo padirbto elemento, arba vadinamo galvaninio elemento, elektriškas efektas yra tik kontakto tarp I ir II rūšies laidininkų išdava. Šiandien nėra jokios abejonės, kad chemiška reakcija yra tikra priežastis galvaninio elemento elek-

riško efekto. Sudarysime galvaninį elementą, kaip jį atvaizduoja 128 piešinys, paėmę stiklo indą, pripylę į jį silpnos sieros rūgšties ir įkišę į tą rūgštį cinko ir vario plokšteles. Kol cinkas ir varis nesujungti viela, ant cinko pasirodo vandenilis daugybės burbuliukų pavidalu. Vadinasi, eina reakcija $Zn + H_2SO_4 = H_2 + ZnSO_4 + q$ calor. Cinkas išspaudžia, taip sakant, vandenilį iš sieros rūgšties, užimdamas jo vietą ir sudarydamas cinksulfato druską, ir, kadangi cinko chemiška energija paprastomis sąlygomis yra didesnė, kaip vandenilio energija, tai tos energijos perteklius, vykstant reakcijai, atsileidžia tam tikro šilimos kiekio pavidalu, kuris yra pažymėtas reakcijos lygtyje q calor. Sujungus metaline viela cinką ir varį, elemente vyksta ta pati reakcija, bet cinko išspaustas vandenilis pasirodo dabar ne ant cinko, bet ant vario. Tuo pačiu laiku per vielą ir per skystimą teka elektros srovė, ir ta srovė teka tol, kol yra cinkas ir sieros rūgštis. Tekant elektros srovei vieloje susidaro šilima, kaip, aplamai, vykstant elektros išlydžiui per vielą, arba vykstant priešingų elektrų neutralizacijai, visuomet susidaro šilima. Mes vėliau pasižinsime su metodais, kuriais galima išmatuoti elektros srovės energija. Kalorimetru galima išmatuoti šilimos efektas tos ar kitos chemiškos reakcijos. Pasirodo, kad tasai šilimos efektas būna žymiai mažesnis tada, kada aukščiau duota chemijos reakcija vyksta uždarytame galvaniniame elemente, kitaip sakant, galvaniniame elemente, kurio elektrodai sujungti viela. Apskaitymais ir bandymais galima įrodyti, kad skirtumas tarp šilimos efekto chemiškos reakcijos atdarame galvaniniame elemente (arba paprastai veikiant H_2SO_4 cinką) ir uždarytame galvaniniame elemente kaip tik yra lygus elektros energijai, kuri reiškiasi uždarytame galvaniniame elemente. Taigi, šiandien yra tvirtai nustatytas faktas, kad svarbiausias galvaninių elementų elektros energijos išteklius yra chemiškas procesas. Kai del paties mechanizmo, kuris, vykstant chemiškai reakcijai uždarytame elemente, palaiko nuolatinius potencialo kritimus kontaktuose abiejų metalų su rūgštimi arba su kitu kokiu laidininku antros rūšies, tai tasai mechanizmas yra gan painus, bet visgi šiandien mes turime hipotezę, kuri patenkinamai išaiškina galvaninio elemento dinamiką. Tuo tarpu pasitenkinsime vaizdu tam tikrų veiksnių, kurie metalo ir skystimo kontakte visą laiką atnaujina elektros įlydžius, kurie nuteka nuo metalų į vielą ir toje vieloje neutralizuojasi, tarytum kažkokie ypatingi siurbliai visą laiką pumpuoja elektrą į elektrodus vykstant chemijos reakcijai. Su galvaninio elemento teorija mes geriau pasižinsime kituose §§, o čia duosime trumpą aprašymą dažniausiai vartojamų galvaninių elementų.

Galvaninį elementą galime laikyti tokia mašina, kurioje chemiška energija virsta elektros energija. Išradus Voltai savo elementą vėliau buvo išrasti ir kitos konstrukcijos galvaniniai elementai didesnio įtempimo ir patogesni vartoti. Kadangi jie visi duoda gan didelių elektros kiekių sulyginti mažo įtempimo, tad su jais labai patogu sekti dinaminę elektrą (elektros savumus judėjimo būklėje) ir todel tokie elementai plačiai buvo vartojami nuo XVIII šimtmečio pabaigos ligi XIX šimtmečio vidurio ir jų dėka buvo padaryta visa eilė itin svarbių išradimų elektros srityje. Šiandien mes turime daug galingesnių ir pigesnių elektros energijos išteklių ir todel galvaniniai elementai nustojo savo praktiškos reikšmės, bet jie turi tam tikros teorinės reikšmės, dažnai dar vartojami laboratorijose, ir kai kuriais atvejais ir praktiškam gyvenime, ypatingai telegrafų ir telefonų stotyse. Todel aprašysime čia keletą dažniausiai vartojamų ir tipingų galvaninių elementų.

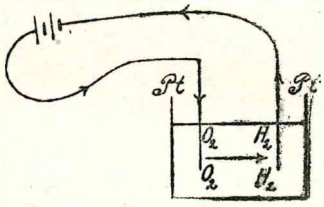
Pagrindinė medžiaga, kuri yra chemijos energijos išteklius daugumai galvaninių elementų, yra metalas cinkas. Vadinasi, į tą metalą galima žiūrėti kaipo į galvaninės mašinos kurą. Toji medžiaga gan brangi XVIII šimtmečio pabaigoje ir XIX šimtmečio pradžioje ir nepigi ir šiandien. Vadinasi, elektros energija, gaunama galvaniniais elementais, yra brangus dalykas. Pagrindinė chemijos reakcija daugumos galvaninių elementų yra ta pati kaip ir Voltos elemento, būtent: $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2 + q$ cal. Tai yra pakeitimas vandenilio cinku sieros rūgštyje susidarant druskai cinksulfatui ir atsileidžiant tam tikram kiekiui šilimos (q kalorijų), kuri šilima didžiąja savo dalimi virsta elektros energija tam tikromis sąlygomis, būtent, kada reakcija vedama taip, jog reagentas cinkas ir reakcijos produktas vandenilis erdviniai atskirti, tai yra, kada išstumtas cinko vandenilis pasirodo ne ant cinko, bet toje vietoje, kur sieros rūgštis randasi kontakte su

kitu metalu. Tiktai išpildžius šitą sąlygą perteklius cinko chemiškos energijos virsta didžiąja savo dalimi elektros energija ir virsta betarpiškai. Įmetus cinko gabaliuką į sieros rūgštį, vyksta ta pati reakcija, bet išstumtas cinko vandenilis pasirodo ant cinko ir, aplamai, kontakte cinko ir sieros rūgšties ir chemijos energijos perteklius virsta šilima. Galima žiūrėti ir taip, kad ir čia chemijos energija virsta iš pradžios elektros energija. Bet — ir + įlydžiai neturi tokiomis sąlygomis progos persiskirti ir todel jie tuojau neutralizuoja vienas antrą ir mes turime šilimą kaipo tokios neutralizacijos išdavą.

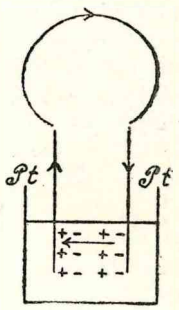
Šita proga pabrėšime, kad chemiškai tyras cinkas nereaguoja su sieros rūgštimi arba reaguoja labai silpnai. Bet palietus tokį cinką platinos viela arba, aplamai, kitu metalu, kurio chemiška giminystė sieros rūgščiai, t. y. jos deguoniui yra mažesnė, tuojau prasideda mūsų aprašytoji reakcija, ir vandenilis gausiai pasirodo ant platinos vielos arba ant kito metalo. Taigi, reikia manyti, kad cinkas su nedidelėmis priemaišomis kitų metalų, sakysime, vario, gyvojo sidabro ir t. t., todel taip energingai reaguoja su sieros rūgštimi, kad primaišyti metalai sudaro visą eilę galvaninių porių, t. y. mikroskopiškų elementų, panašių į Voltos elementus, ir kad sudaryti tokiais poriais elektros įlydžiai del labai mažo atokumo tarp tų įlydžių tuojau susidarymo vietoje neutralizuoja vienas kitą ir duoda šilimą.

Atvaizduotas 128 piešiniu Voltos elementas pasižymi tuo, kad uždarius jį viela, srovė žymiai silpnėja, kitaip sakant, elektrovaromoji jėga, tokiam elementui veikiant, yra žymiai mažesnė kaip potencialų skirtumas tarp jo polių, vadinasi, tarp cinko ir vario, kol elementas neuždarytas. Dalykas tas, kad esant elementui atdaram mes turime kombinaciją iš dviejų skirtingų metalų ir antros rūšies laidininko (rūgštis). Uždarius elementą jis ima veikti ir ant teigiamo elektrodo, t. y. ant vario gausiai pasirodo vandenilis. Tasai vandenilis ir yra čia priežastimi elemento elektrovaromosios jėgos mažėjimo, nes veikiant elementui, mes turime iš vienos pusės kontaktą tarp cinko ir sieros rūgšties, o iš antros — kontaktą tarp vario + vandenilis ir sieros rūgštis. Taigi iš antros pusės kontakte su sieros rūgštimi randasi jau nebe varis, o okliuduotas variu vandenilis. Šitas vandenilis veikia elektriškai, panašiai kaip cinkas, vadinasi, jis yra priežastimi to, kad vario kontakto vietoje irgi susidaro toksai dvigubas — ir + elektros sluogsnis, kaip ir kontakto vietoje cinko ir sieros rūgšties. Kitaip sakant, to dvigubo sluogsnio teigiama elektra yra ant sieros rūgšties paviršiaus, o neigiama elektra ant vario. Šita neigiama elektra neutralizuoja dalinai vario teigiamą elektrą ir žemina jo teigiamą potencialą, kitaip sakant, mažina skirtumą potencialų tarp vario ir cinko. Aprašytas čia reiškinys vadinasi galvaninė polarizacija todel, kad vandenilis užtaiso (įlydina) varį priešingai, suteikdamas + įlydį sieros rūgšties paviršiui, o — įlydį variui. Pažymėsime potencialų skirtumą tarp vario ir cinko atdaro elemento raide E voltų. Uždarius elementą tasai potencialų skirtumas sumažės. Pažymėsime uždaryto elemento potencialų skirtumą arba jo elektrovaromąją jėgą raide E_1. Tad $E - E_1 = e$. Čia e yra ne kas kita, kaip elektrovaromoji jėga galvaninės polarizacijos, kuri veikia priešingai elektrovaromajai jėgai E, taip kad mes turime šitokius santykius: $E_1 = E - e$. Žodžiu, uždaryto elemento elektrovaromoji jėga yra lygi potencialų skirtumui atdaro elemento minus galvaninės polarizacijos elektrovaromoji jėga. Kai kuriais atvejais šita galvaninės polarizacijos elektrovaromoji jėga gali pasiekti gangreit tokį pat didumą, kaip potencialų skirtumas E, ir tada uždarytas elementas nustoja elektriškai veikęs, vadinasi, jo elektrovaromoji jėga E krinta ligi 0. Kad dar galvaninės polarizacijos reikšmė būtų aiškesnė, atliksime šitokį eksperimentą. Paimsime stiklo indą su sieros rūgštimi ir įleisime į tą indą du elektrodus iš to paties metalo, sakysime, dvi platinos plokšteles. Žinant duotais Voltos įtempimo dėsniais, tokios kombinacijos elektrovaromoji jėga bus lygi nuliui, nes potencialų kritimai kontaktų vietose bus to paties didumo, bet atkreipti priešingai. Taigi, sujungus abidvi platinos plokšteles viela, jokios elektros srovės toje vieloje nepastebėsime. Paimsime mūsų aprašytą Voltos stulpą ir vielų pagalba sujungsime Voltos stulpo polius su platinos plokštelėmis. Tada eis elektros srovė nuo Voltos stulpo + polio į vieną platinos plokštelę, nuo jos per rūgštį į kitą platinos plokštelę ir nuo tos kitos platinos plokštelės atgal į — polį Voltos stulpo. Taigi viena platinos plokštelė įgys + įlydį, o kita — įlydį, ir mes turėsime čia elektros išlydį visiškai panašų į tą, kuris aprašytas

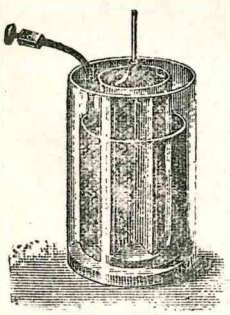
9 § ir atvaizduotas 116 piešiniu. Tokiomis sąlygomis įvyks elektrolizė sieros rūgšties, ir tos elektrolizės išdava ant + platinos plokštelės atsiras deguonis, o ant — platinos plokštelės vandenilis. Atjungsime dabar Voltos stulpą, ir mes turėsime kombinaciją, kuri nieku nesiskiria iš esmės nuo Voltos kombinacijos, nes mes dabar turėsime kontakte su sieros rūgštimi nebe dvi vienodas platinos plokšteles, bet iš vienos pusės platinos plokštelę su okliuduotu deguoniu, o iš antros platinos plokštelę su okliuduotu vandeniliu, ir todel kontakto vietose mes turėsime dvigubus elektros sluogsnius, bet priešingai orientuotus, kaip rodo 133 piešinys. Kitaip sakant, viena platinos plokštelė turės + įlydį (deguonio plokštelė), kita platinos plokštelė — įlydį (vandenilio plokštelė, o ant sieros rūgšties paviršiaus kontaktų vietose iš deguonio pusės bus — elektra, o iš vandenilio pusės bus + elektra. Taigi, tarp platinos plokštelių dabar bus tam tikro didumo potencialų skirtumas, tarytum mes turime du skirtingus metalus, ir sujungę abidvi platinos plokšteles viela, mes gausime dabar elektros srovę, kuri eis per vielą nuo platinos plokštelės su deguoniu į platinos plokštelę su vandeniliu, vadinasi, priešingai kaip ji ėjo, kada prie platinos plokštelių buvo prijungtas Voltos stulpas (žiūr. 133a piež.). Šita srovė irgi yra polarizacijos srovė, nes veikiant Voltos stulpui, platinos plokštelės pasidarė polarizuotos viena deguoniu, o antra vandeniliu. Pagrindinė reakcija aprašyto polarizacijos elemento yra $H_2 + O = H_2O + Q$ cal., kitaip sakant, tai yra reakcija vandens susidarymo iš jo elementų ir tos reakcijos chemiška energija virsta čia elektros energija. Tokie galvaniniai elementai vadinasi polarizacijos elementai arba elementai antrininkai, nes reikia jie polarizuoti, kitaip sakant, elektrolitiniu procesu pakeisti jų metalų arba elektrodų fiziškai chemišką būklę, kad susidarytų Voltos kombinacija, susidedanti iš dviejų skirtingų laidininkų I-os rūšies ir laidininko II-os rūšies. Aplamai, visoki atmaina elektrodų fiziškai chemiškos būklės yra polarizacijos, kitaip sakant, galvaninio elemento elektrovaromosios jėgos mažėjimo priežastis. Taigi visi elementai, kurie veikdami polarizuojasi, neduoda nuolatinės srovės, nes jiems ėmus veikti jų elektrovaromoji jėga krinta ir todel jie netinka įvairiems darbams, kur reikalinga nuolatinė srovė. Prie tokių elementų priklauso ir Voltos išrastas elementas. Kad gautume nuolatinę srovę, reikia eliminuoti poliarizacija. Kadangi dažniausiai polarizacijos priežastimi būna vandenilio atsiradimas ant teigiamojo elektrodo, tai visas uždavinys polarizacijos eliminavimo yra tas, kad neatsirastų vandenilio ant teigiamo elektrodo. Šitam tikslui pasiekti vartojami depolarizatoriai. Dažniausiai tai būna turtingi deguoniu chemijos junginiai, kurie oksiduoja (sudegina) deguonį. Bet yra ir kitų būdų neleisti vandeniliui atsirasti. Pavyzdžiui, galima duoti vandeniliui progos išstumti ant elektrodo tą patį metalą, iš kurio tas elektrodas padarytas. Visi praktikoje vartojami galvaniniai elementai veikia su depolarizatoriais, duoda nuolatinę srovę, ir todel jie vadinasi nuolatiniai elementai.



133 piež.



133a piež.


134 piež.

Čionai mes išdėstėme, taip sakant, faktišką galvaninės polarizacijos pusę, bet nepalietėme paties mechanizmo elektros įlydžių susidarymo. Šitą klausimą mes atidėsime elektrochemijos skyriui. O šitą paragrafą baigsime aprašymu kai kurių nuolatinių galvaninių elementų.

Vienas iš seniausių galvaninių elementų, išrastas XIX šimtmečio pradžioje, yra Danielio elementas. Jis charakterizuojasi pastovia elektrovaromąja jėga apie 1,1 volto ir duoda nuolatinę srovę. Todel tas elementas dažniausiai vartojamas dar ir šiandien atliekant įvairius elektriškus matavimus. 134 piešinys atvaizduoja Danielio elementą. Mes čia turime stiklo indą cilinderio pavidalu, į kurį įpilta koncentruotas tirpalas.

variosulfato ($CuSo_4$). Į šitą skystimą įleistas vario lapas sulenkto cilinderio pavidalu. Tas cilinderis aprūpintas varine ausimi su spaustuvu (klema). Į tą patį skystimą vario cilinderio vidury įleistas tuščias cilinderis iš silpnai apdeginto kaolino (akytos medžiagos). Į šitą kaolino cilinderį įpilta vidutinės koncentracijos sieros rūgšties tirpalas pridedant šiek tiek cinksulfato druskos. Į sieros rūgštį įleista sija arba cilinderis iš tyraus cinko. Gerai šitą cinką amalgamuoti, kitaip sakant, gerai sudaryti ant jo paviršiaus ploną sluogsnį cinko ir gyvojo sidabro lydinio, kuris ir vadinasi amalgama. Amalgamacija atliekama šitaip. Reikia paimti lėkštė, įpilti į ją gyvojo sidabro, užpilti ant to gyvojo sidabro vidutiniškos sieros rūgšties arba druskos rūgšties ir, laikant cinko siją arba cilinderį ant lėkštės, trinti cinką vailoku, gerai išmirkytu gyvajam sidabre ir rūgštyje. Pakankamai patrynus ir gerai nuplovus vandeniu mes turėsime gražų sidabrinį cinko paviršių. Amalgamacijos tikslas tas, kad būtų suteikta cinko paviršiui kiek galima didesnio vienodumo, ir tokiu būdu pašalinta vietinės reakcijos arba kad nesusidarytų minėti mikroskopiški (trumpai sujungti) Voltos poriai, kurie veiks kaip polarizacija ir silpnins cinko elektromotorinį veikimą. Akytas molio cilinderis reikalingas čia tam, kad kiek galint būtų sulaikyta difuzija tarp dviejų skystimų cinksulfato ir vario sulfato, kad pirmasai nepatektų į sritį anodo (vario), o antrasai į sritį katodo (cinko). Išteklių energijos Danielio elemente sudaro šios chemiškos reakcijos:

$$Zn+H_2SO_4+aq=H_2+Zn\,SO_4+aq+q_1 \text{ cal. ir } H_2+Cu\,SO_4+aq=Cu+H_2\,SO_4+aq+q_2 \text{ cal.}$$

Čia aq reiškia vandenį, nes abidvi reakcijos vyksta vandens tirpaluose, o q_1 q_2 reiškia šilimos efektus abiejų reakcijų. Sudėję abidvi šitas reakcijas kaipo algebrines lygtis ir padarę sutraukimą vienodų narių, mes gausime pagrindinę reakciją Danielio elemento:

$$Zn + Cu\,SO_4 + aq = Zn\,SO_4 + Cu + aq + (q_1 + q_2) \text{ cal.}$$

Vadinasi, galų gale čia cinkas išspaudžia varį iš vario sulfato, sudarant cinko sulfatą, ir šilimos efektas šito proceso yra lygus skirtumui susidarymo šilimų cinko sulfato ir vario sulfato. Be to, čionai visiškai nepasirodo ant elektrodų vandenilis, vadinasi, elektrodų paviršiai ir jų sudėtis nesikeičia. Vadinasi, Danielio elementas nesipolarizuoja. Depolarizatoriaus vaidmenį čia vaidina vario sulfatas, nes išstumtas cinko vandenilis reaguoja su vario sulfatu, sudarydamas sieros rūgštį ir išstumdamas varį.

Visa reakcijos energija Danielio elemente virsta elektros energija, kurią nesunku apskaityti einant energijos išlaikymo dėsniu ir žinant reakcijos šilimos efektą. Minėtos reakcijos šilimos efektas skaitant I-am gram-ekvivalentui (32,5 gramų) cinko yra lygus 25065 kalorijų (kaip jau pasakyta, tai yra skirtumas susidarymo šilimų cinko sulfato ir vario sulfato). Antra vertus, mes vėliau pasipažinsime su Faraday'aus nustatytu dėsniu, einant kuriuo reikia per cinko sulfatą ir, aplamai, per bet kurią cinko druską praleisti 96540 kulonų, kad atleistų elektrodui 1 gram-ekvivalentą cinko ir atbulai visuomet, kada 1 gram-ekivalentas cinko reaguoja sudarydamas 1 gram-ekvivalentą druskos, per elementą pereina 96540 kulonų elektros, jeigu tiktai cinko reakcija vyksta galvaniniam elemente. Taigi pažymėję elektrovaromąją jėgą Danielio elemento reide x, atleistą jo elektros energija skaitant I-am gram-ekvivalentui cinko bus 96540. x voltkulonų arba 96540. x. 0,2387 kalorijų, imant domėn, kad 1 volt-kulonas elektros energijos yra ekvivalentingas 0,2387 kalorijų. Taigi eidami energijos išlaikymo dėsniu mes turėsime lygtį:

$$96540.\ x.\ 0{,}2387 = 25065.$$

Iš šitos lygties:

$$x = \frac{25065}{96540.\ 0{,}2387} = 1{,}08 \text{ voltų.}$$

Danielio elemento elektrovaromosios jėgos tiesioginiai matavimai duoda nuo 1,08 — 1,1 voltų. Toksai sutapimas tiesioginio matavimo ir apskaitymo rodo, kad Danielio elemento visa chemiškos reakcijos šilima virsta elektros energija. Remiantis šita išvada ilgą laiką fizikų tarpe viešpatavo nuomonė, kad ir kituose galvaniniuose elementuose chemiškos reakcijos šilima pilnumoje virsta elektros energija, jeigu tik tie elementai dirbdami nesipolarizuoja, vadinasi, dirba apverčiamai, kaip apverčiamai dirba Danielio elementas,

nes, paleidę per Danielio elementą srovę su pagalba išorinės elektrovaromosios jėgos taip, kad + elektra įeitų į varį ir išeitų per cinką, mes turėsime reakciją:

$$Cu + Zn\,SO_4 = Zn + Cu\,SO_4.$$

Vadinasi, varis tirps, o cinkas bus atleistas ant elektrodo. Bet kitų galvaninių elementų elektrovaromosios jėgos matavimai parodė, kad toli gražu ne visuomet reakcijos šilima virsta pilnai elektros energija, ir kad dažniausiai elektros energija yra mažesnė, kaip reakcijos šilima, bet kai kuriais atvejais ta elektros energija būna didesnė kaip reakcijos šilima. Ir šitie elementai neprieštarauja energijos išlaikymo dėsniui, nes pirmuoju atveju čia dalis šilimos pasilieka kaipo toki, o antruoju atveju elektros energija susidaro ne tik iš šilimos, bet ir išorinio darbo sąskaita. Šituos santykius mes išnagrinėsime smulkiau kituose paragrafuose ir duosime Helmholtz'o lygtį, kuri nustato santykius tarp cheminės energijos ir elektros energijos visokiems galvaniniams elementams.

Jeigu Danielio elemento skystimai nebūtų perskirti akyta diafragma (molio cilinderiu), tai į cinko sritį patektų vario sulfatas, ir reakcija $Zn + Cu\,SO_4 = Zn\,SO_4 + Cu$ vyktų kontakte su cinku, kitaip sakant, varis būtų betarpiškam kontakte su cinku, ir mes turėtumėm vietinę reakciją daugybės trumpai sujungtų galvaninių porių $Zn\,|\,H_2SO_4, Cu\,SO_4\,|\,Cu$. Tokiomis sąlygomis visa reakcijos energija pasirodytų šilima. Mes jau žinome, kad reikia padaryti erdvinis perskyrimas reaguojančių kūnų ir reakcijos produktų, kad reakcija veiktų elektromotoriškai, kitaip sakant, kad reakcija būtų elektros energijos ištekliumi. Aprašyta čia Danielio elemento konstrukcija ir laiduoja tokį erdvinį perskyrimą reaguojančio cinko ir reakcijos produkto vario: varis išmetamas ant + elektrodo, o cinkas tirpsta ant — elektrodo.

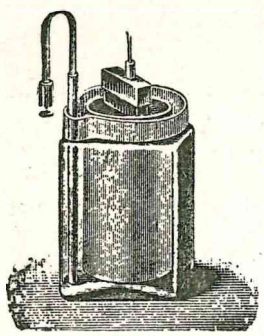
Visi kiti elementai turi panašią konstrukciją, kaip ir Danielio elementas, bet juose, kaipo depolarizatoriai, veikia turtingi deguoniu chemijos junginiai. Danielio elementas netinka tais atvejais, kada norima gauti stipresnė srovė, nes jo elektrovaromoji jėga yra vidutiniška. Todel Danielio elementas ir anksčiau buvo vartojamas ir šiandien vartojamas matavimams, nes jis turi nuolatinę elektrovaromąją jėgą. Didesnę elektrovaromąją jėgą turi (apie 2 voltus) Bunzeno elementas, kurio konstrukcija yra tokia pat, kaip ir Danielio elemento. Į stiklo indą įpilta vidutinio stiprumo sieros rūgšties ir į tą rūgštį įmerkta cinko plokštė sulenkta cilinderiu. Į vidurį šito cinko cilinderio įstatytas silpnai apdegintas kaolino cilinderis, į kurį pripilta gan stiprios azoto rūgšties. Į šitą azoto rūgštį įmerkta platinos plokštelė arba storas platinos stiebas. Pagrindinė reakcija ir šitam elementui yra $Zn + H_2SO_4 = H_2 + ZnSO_4$. Išstumtas cinko vandenilis turėtų pasirodyti ant platinos, bet jis reaguoja su azoto rūgštimi $H_2 + HNO_3 = H_2O + HNO_2$, kitaip sakant, turtinga deguoniu azoto rūkštis sudegina vandenilį, sudarant vandenį, ir tokiu būdu vandenilis negali pasirodyti ant platinos elektrodo, kitaip sakant, tas elektrodas nesipolarizuoja. Bunzeno elementas yra nepatogus vartoti todel, kad susidariusi azotinė rūgštis HNO_2 ir azoto rūgštis HNO_3 reaguoja tarp savęs: $HNO_3 + HNO_2 = H_2O + 2NO_2$, vadinasi, duoda azoto dvideginį. Tai yra aštraus kvapo ir nuodingos dujos rusvos spalvos. Be to, tasai elementas nepigus, nes vartojama platina. Tiesa, ta platina čionai nesieikvoja, bet visgi elementas yra brangus. Žymiai papiginti Bunzeno elementas galima, pakeitus platiną dujų dirbtuvių retortų koksu arba grafitu. Tokiu atveju tenka tik dažniau keisti anodas (čia koksas, kaip ir platina, vaidina + elektrodo vaidmenį), nes, esant kontakte su azoto rūgštimi ir rusvais azoto dvideginio garais, koksas yra smarkios korozijos įtakoje. Nepaisant gan didelės elektrovaromosios jėgos, Bunzeno elementas duoda visgi nepakankamai stiprią srovę del akytos diafragmos, todel kad ta diafragma žymiai padidina elemento vadinamą išvidinę elektros varžą. Todel, norint gauti stipresnę srovę, vietoj Bunzeno elemento vartojama Grove elementas, kurį atvaizduoja 135 piešinys. Tasai elementas yra modifikacija Bunzeno elemento. Mes čia turime dvi cinko plokštes, sujungtas tarp savęs metališkai ir aprūpintas bendru stiebu, ant kurio galo randasi klema (spaustuvai). Tarp šitų cinko plokščių randasi kokso plokštė, irgi

135 pieš.

aprūpinta stiebu su klema. Skystimas—sieros rūgštis ir kali bichromatas — randasi čionai bonkoje. Cinko ir kokso plokščių stiebai išleisti per bonkos dangtį, taip kad užvožiant ta dangtim bonką, cinko ir kokso plokštės pasineria skystime. Be to, cinko plokščių stiebas sujungtas su dangčiu judomai, taip kad tas stiebas galima patraukti augštyn, ir tokiu būdu pakelti cinkai tiek, kad jie visiškai išeitų iš skystimo. Tai daroma tada, kada elementas nevartojamas, kad be reikalo nebūtų gaišinamas cinkas. Kada reikia gauti srovė, cinkų stiebas stumiamas gilyn, ir abudu cinkai patenka į skystimą. Savaime suprantama, kad kokso plokštė nėra betarpiškame kontakte su cinkais. Aprašyto čia galvaninio elemento elektrovaromoji jėga irgi yra apie 2 voltus. Pagrindinės reakcijos tokios:

$$3Zn + 3H_2SO_4 = 3H_2 + 3Zn\,SO_4 \text{ ir } 3H_2 + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 = 7H_2O + 2KCr(SO_4)_2.$$

Pirmoji iš tų reakcijų yra elektros energijos išteklius, kaip ir kituose elementuose, o antroji reakcija panaikina vandenilį neleisdama jam pasirodyti ant kokso ir tokiu būdu polarizuoti anodą. Šitoje antroje reakcijoje veikia kali bichromatas, turįs daug deguonio. Jo deguonis sudegina vandenilį, sudarydamas vandenį. Užtat chromo rūgštis virsta chromo trioksidu, kuris su sieros rūgštimi ir su kalio sulfatu sudaro kalio chromo alūną žalios spalvos. Kali bichromatas yra raudonai oranžinės spalvos, taip kad veikiant šitam elementui, kuris dažnai vadinasi chromo rūgšties elementas, raudonai oranžinė skystimo spalva kinta, ir skystimas darosi tamsiai žalios spalvos. Taigi, šitame elemente depolarizatorium vartojamas kali bichromatas. Reikia vienok pasakyti, kad polarizacija šitame elemente visai nepašalinta, nes tasai elementas neturi diafragmos, kuri sulaikytų vandenilio difuzija, ir todel, veikiant tam elementui ilgesnį laiką, jo elektrovaromoji jėga žymiai silpnėja.



136 pieš.

Šiandien laboratorijose ir telegrafo ir telefono stotyse dažniausiai vartojamas Leclanché elementas, kuris duoda gan pastovią elektrovaromąją jėgą apie 1,5 volto. Šitą elementą atvaizduoja 136 piešinys. Mes čia turime stiklo indą, pripiltą stipraus amonio chlorido tirpalo (amonio chloridas tirpinamas šaltam vandeny tiek, kiek jo ten tirpsta). Į šitą skystimą įleista cinko plokštė sulenkta cilinderio pavidalu ir aprūpinta metaline ausele su klema. Į tą patį skystimą cinko cilinderio vidury įleistas storas stiebas iš kokso, apklotas storu sluogsniu mangano superoksido. Kad mangano superoksidas nebyrėtų, kokso stiebas ir mangano superoksidas apvilkti drobės maišeliu. Pagrindinė reakcija šito elemento yra toki:

$$Zn + 2NH_4Cl = ZnCl_2 + H_2 + 2NH_3.$$

Vandenilis turėtų pasirodyti ant anodo (kokso), bet mangano superoksidas sudegina vandenilį: $H_2 + 2MnO_2 = H_2O + Mn_2O_3$. Taigi čia mangano superoksidas veikia depolarizatorium.

137 pieš.

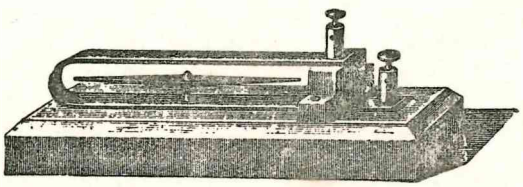
Pagaliau, paminėsime čia dar, kad šiandien daug vartojami vadinamieji sausi elementai (žiūr. 137 pieš). Tai yra Leclanchè elementai tiktai su II-os rūšies laidininku ne skystoje būklėje, bet pavidalu tešlos arba pastos, kuri sudaroma iš amonio chlorido, nedidelio kiekio vandens ir tokios medžiagos, kuri priduoda tam mišiniui kietos konsistencijos. Šitie elementai yra gan patogūs, tiktai retkarčiais reikia pridėti truputis vandens.

Aprašyti čia elementai yra dažniausiai vartojami, o pirmoj pusėj XIX šimtmečio jie, galima sakyti, buvo vienintelis išteklius šiek tiek stipresnių elektros srovių. Kaip mes pamatysime kitame §, tų elementų dėka buvo padaryta visa eilė naujų pastebėjimų ir išradimų, kurie ne tik praplėtė mūsų elektros fenomenų pažinimą, bet padėjo pagrindus elektrotechnikai.

12 §. Oerstedo pastebėjimas (1820). Galvanoskopas. Srovės magnetinis laukas. Tarpusavis veikimas srovės ir magneto. Magnetinės linijos rato ir solenoido. Multiplikatorius arba galvanometras. Srovės sudaryto magnetinio lauko stiprumas. Biot - Savarto dėsnis. Laplace'o elementarinis elektrodinamikos dėsnis. Absoliutinis elektromagnetinis elektros kiekio vienetas. Magnetinis laukas ant ašies srovės rato ir ant ašies solenoido. Magnetinis laukas srovės tinklo sudaryto tiesialiniais laidininkais. Tangens - busolė. Astatinis W. Thomsono galvanometras. D'Arsonvalio galvanometras. Balistinis galvanometras.

Moksle dažnai atrodo, kad pripuolamai pastebėtas mažmožis tampa išeinamuoju etapu dideliems išradimams. Svarbu tik pabrėžti čionai, kad tie „pripuolamieji" mažmožiai, menkniekių pastebėjimai, visuomet pasiseka tik tokiems asmenims, kurie jau galvoja apie tą ar kitą dalyką ir ieško to dalyko reiškinių gamtoje. Taigi kažin, ar visiškai buvo pripuolamas dalykas graikų galvočiaus Thaleso pastebėjimas gangreit prieš 2500 metų, kad patrintas gelumbe gintaras pritraukia lengvus kūnus. Juk Thales, buvęs Egipte, žinojo, kad Egipto kačių plaukai duoda kibirkštis ir kad tame sausame krašte kai kurie daiktai, ypač dervos daiktai, patrinti irgi duoda kibirkščių. Ir jau visiškai nepripuolamas buvo dalykas sistematingi tyrinėjimai pastebėtos Thaleso fizinių kūnų savybės, atlikti pabaigoje XVI ir pradžioje XVII šimtmečio gydytojo Williamo Gilberto Anglijoje. Galvani'o pastebėjimas, kad šviežiai preparuota varlės kinka susitraukia, jeigu arti nuo jos veikia trynimo elektros mašina ir duoda kibirkščių, arba kad ta kinka susitraukia sujungus jos nervą ir muskulą metaliniu lanku, irgi negali būti laikomas visiškai pripuolamu. Juk Galvani's tikėjo į gyvasties elektrą ir ieškojo tos gyvasties elektros pasireiškimų, kaip anatomas ir fiziologas, visų pirma gyvių nervuose ir muskuluose. Bet iš šito Galvani'o pastebėjimo išėjo, dėka Voltos sistematingų tyrinėjimų, galvaninis elementas, kuris tapo išteklium gan stiprių elektros srovių, ypač kad, kaip jau mes matėme, jungiant visą eilę galvaninių elementų tam tikru būdu galima daugeriopai padidinti potencialų skirtumas arba elektrovaromoji jėga. Taigi Voltos laikais ir vėliau buvo atliekama daugybė įvairių eksperimentų Europoje ir Amerikoje su vadinamomis galvaninėmis batarejomis.

Kopenhagos universiteto fizikos profesorius Christianas Oersted'as 1820 metais, skaitydamas paskaitą apie Voltos tyrinėjimus ir vartodamas Voltos arba galvaninę batareja, pastebėjo šį dalyką. Arti nuo vielos, per kurią Oerstedas leido elektros srovę, buvo magnetinė busolė. Kiekvieną sykį, kada buvo uždaroma srovė, busolė atsilenkdavo. Tiesą pasakius, pastebėjo tai ne Oerstedas, bet jo klausytojai — studentai, kurie atkreipė dėmesį užsimąsčiusio profesoriaus į tai, kad magnetinė adata atsilenkia iš savo pusiausvyros būklės, kaip tiktai paleidžiama srovė per vielą. Tada Oerstedas ėmė sistematingai sekti šitą dalyką ir konstatavo, kad jeigu magnetinė adata padėta magnetiniam meridiane ir viršuj jos arba jos apačioje ištempta viela, tai paleidus per tą vielą elektros srovę, adata atsilenkia į tą ar į kitą pusę iš magnetinio meridiano plokštumos. Paleidus pakankamai stiprią srovę, magnetinė adata nusistato statmenai plokštumai, ištiestai per vielą ir per adatą.

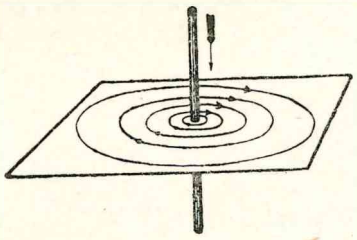


138 pieš.

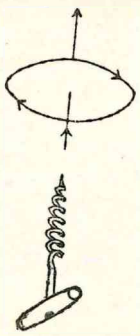
138 piešinys atvaizduoja paprasčiausią aparatą, su kurio pagalba galima sekti šitas elektros srovės veikimas magnetinei adatai. Prie medinės lentos įtaisyta varinė, užlenkta juosta, kaip rodo piešinys. Abu juostos galai izoliuoti vienas nuo antro stulpeliu iš izoliuojamos medžiagos, bet aprūpinti metaliniais straigtais, su kurių pagalba

galima juostos galai prijungti prie polių arba elektrodų galvaninio elemento arba galvaninės batarejos. Vidury juostos ant štifto užmauta magnetinė adata. Nustačius varinės juostos plokštumą lygiagrečiai magnetiniam meridianui ir prijungus juostos galus prie batarejos polių, magnetinė adata atsilenkia ir, būtent, šiaurės poliu į kairę pusę, jeigu srovė eina nuo viršutinio sraigto į apatinį sraigtą ir, jeigu žiūrima į šiaurės polį, iš užpakalio. Jeigu srovė eina priešinga kryptimi, tai šiaurės polis atsilenkia į dešinę pusę, vadinasi, į užpakalį nuo popieriaus plokštumos. Pertraukus srovę magnetinė adata grįžta į magnetinio meridiano plokštumą. Aprašytas čia paprastas aparatas vadinasi galvanoskopas (galvanizmo akimis, nes jis padeda, taip sakant, matyti galvanizmo reiškinius). Aišku, kad tasai galvanoskopas vaidina vaidmenį visiškai panašų į Galvani'o varlės kinką. Kaip kinkos susitraukimas yra įrodymas elektros srovės metaliniam lanke, jungiančiam kinkos nervą ir muskulą, taip čia magnetinės adatos atsilenkimas iš magnetinio meridiano plokštumos yra įrodymas elektros srovės laidininke, kuris apsupa magnetinę adatą. Vietoj varinės juostos galima apsupti magnetinę adatą viela. Leidžiant per vielą srovę adata atsilenks, bet silpniau. Prancūzas Ampère'as greitai po Oerstedo išradimo pastebėjo, kad apsupus adatą, sakysime, varine viela ne vieną sykį, o keletą sykių (apsupus, vadinasi, ne vienu vingiu, o keletu vingių), srovės veikimas adatai būna keletą kartų stipresnis, vadinasi, adata atsilenkia keletą kartų didesniu kampu. Ampère'as pirmutinis davė ir taisyklę, iš kurios galima iš anksto pasakyti, į kurią pusę atsilenks adatos šiaurės polis. Ta garsi Ampère'o taisyklė skamba: „Įsivaizduokim žmogaus figūrą, plaukiančią su srove galva pirmyn, ir taip, kad akys būtų atkreiptos į adatos šiaurės polį. Tada tas šiaurės polis visuomet atsilenks iš magnetinio meridiano plokštumos į kairę pusę". Kadangi magnetinė adata galima atlenkti iš magnetinio meridiano plokštumos kitu magnetu, tai jau Oerstedui atėjo į galvą mintis, kad apie laidininką, per kurį eina srovė, susidaro ypatingas magnetinis laukas ir kad tas magnetinis laukas veikia magnetinę adatą. Šitą mintį pagilino ir jos tikrumą įrodė eksperimentais prancūzas Ampère'as.

Paimsime kartono lapą, išgręšime to lapo vidury mažą skylę ir iškišime pro tą skylę storą vario vielą, kaip rodo 139 piešinys. Sujungus storos vielos galus su batarejos poliais, per vielą eis srovė, sakysime, iš viršaus žemyn. Bersime dabar per ploną tinklelį geležies miltelius ant kartono. Tie geležies milteliai apsups vielą kaipo ašį kartono plokštumoje koncentriniais ratais. Šitie ratai yra magnetinės linijos srovės sudaryto magnetinio lauko. Reikia tik įsivaizduoti, kad tokios uždarytos jėgų linijos yra ne tik kartono plokštumoje, bet ir kiekvienoj plokštumoj, kurią galima ištiesti per laidininką statmenai jam. Buvimą magnetinio lauko apie laidininką, per kurį eina srovė, galima įrodyti ir su pagalba nedidelės magnetinės adatos, apdraustos nuo žemės magnetinio veikimo. Artinant tokią adatą prie laidininko, per kurį eina srovė, kaip rodo 139 piešinys, adata visur nusistato statmenai plokštumai, ištiestai per laidininką ir adatos vidurį ir taip, kad adatos šiaurės polis būna atkreiptas į kairę pusę nuo Ampère'o figūros, plaukiančios srovės kryptimi galva pirmyn ir žiūrinčios į šiaurės polį. Paėmus visą eilę tokių mažų adatų ir padėjus jas tam pačiam atokume nuo laidininko iš visų jo pusių, tos adatos nusistatys apie laidininką išilgai rato, sudarančio vieną uždarytą jėgų liniją. Taigi Ampère'o taisyklė padeda nustatyti magnetinio lauko kryptį, kitaip sakant, kryptį, kuria užsisuka jėgų linijos arba kuria slenka magnetiniam lauke šiaurės polis. Kiek vėliau Maxwellis davė prastesnę ir lengvesnę taikymui taisyklę (žiūr. 140 piešinys): „Jeigu srovės kryptis sutampa su žengimu pirmyn dešiniojo sraigto, tai kryptis, kuria sukamas sraigtas, yra kryptis magnetinio

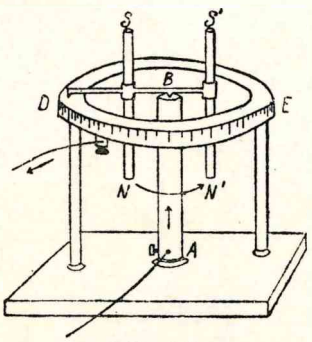


139 pieš.

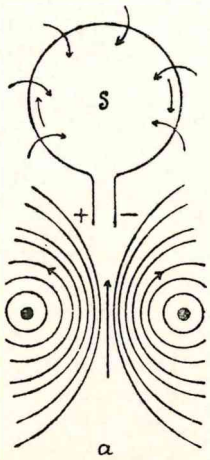


140 pieš.

lauko". 140 piešiny stora gulsčia linija rodo srovės kryptį. Sraigtas žengia pirmyn šita kryptimi sukant jį iš kairės į dešinę pusę. Taigi magnetinė jėga srovės suka šiaurės magnetinį polį irgi iš kairės į dešinę pusę. Vadinasi, kryptis jėgų linijos kilpos yra iš kairės į dešinę pusę. Taigi, išeina, kad srovė suka magnetinį polį, vadinasi, srovė suks magnetą, jeigu tik magnetas bus padėtas taip, kad jis galės suktis. Bet einant akcijos ir reakcijos lygybės dėsniu, magnetas suks laidininką, per kurį eina srovė, jeigu tik tas laidininkas bus tokioje būklėje, kad jis galės suktis. Aplamai, mes čia turime srovės ir magneto tarpusavį veikimą. Ir laidininkas, per kurį eina srovė, ir magnetas suksis tuo pačiu laiku, jeigu tik jie bus nustatyti judomai. 141 piešinys atvaizduoja paprastą aparatą, su kurio pagalba galime demonstruoti sukimą magnetinio polio srove. Ant medinės lentos mes čia turime gan storą vertikalį metalinį stiebą AB. Viršuj to stiebo išskaptuota duobelė, į kurią įpilta gyvojo sidabro. Į tą duobelę įdėtas gulččias metalinis petis BD aštriu štiftu, kuris randasi peties apačioje. Su petimi sujungti du magnetai, atkreipti to paties ženklo poliais į tą pačią pusę, būtent, šiaurės poliais žemyn ir pietų poliais augštyn. Ant tos pačios medinės lentos ant šulų padėtas metalinis žiedas ED, kuriame iš viršaus išskaptuotas latakas. Šitas latakas irgi pripiltas gyvojo sidabro. Į tą gyvąjį sidabrą įeina užlenktas smailgalis, kuris randasi ant gulsčio peties galo D. Metalinis stiebas AB ir metalinis žiedas ED aprūpinti sraigtais, su kurių pagalba jie galima prijungti prie batarejos. Prijungsime batarejos + polį prie A ir — polį prie žiedo sraigto. Tada elektros srovė eis per stiebą AB augštyn, kaip rodo iešmutė, pateks į duobelę B ir iš duobelės į štiftą, per štiftą į metalinį petį, iš peties į žiedo gyvąjį sidabrą, iš ten į žiedo sraigtą ir iš sraigto atgal į batarejos polį. Taigi elektros srovė veiks abiejų magnetų šiaurės polius, o pietų poliai bus labai silpnai srovės paliesti. Taikinant Ampère'o taisyklę arba Maxwellio taisyklę nesunku įsitikrinti, kad abudu šiaurės poliai suksis apie stiebą AB laikrodžio rodikliu, t. y. iš kairės į dešinę pusę, kaip rodo užlenkta iešmutė, žiūrint į šiaurės polį iš apačios. Jeigu paleistume srovę taip, kad ji eitų per stiebą AB kryptimi nuo B į A, tai abudu šiaurės poliai suksis prieš laikrodžio rodiklį; t. y. iš dešinės į kairę pusę, žiūrint į šiaurės polius iš apačios.

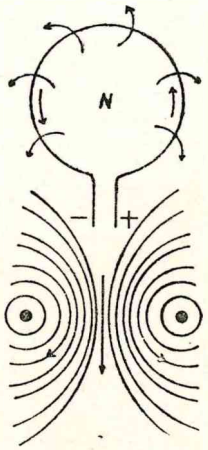


141 pieš.



a

142a pieš.

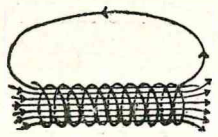


142b pieš.

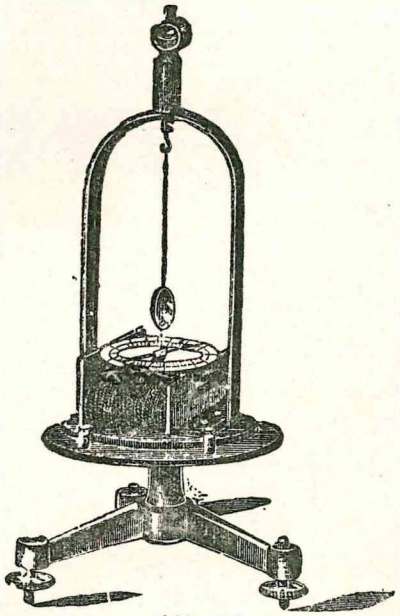
Pažiūrėsime dabar, kaip atrodo magnetinis laukas laidininko rato pavidalu, per kurį eina srovė (žiūr. 142 piešinys). Jeigu elektros srovė eina per tokį ratą, kaip rodo 142 piešinio figūra a, tai jėgų linijos perkerta plotą, apibrėžtą ratu, įeidamos iš vienos pusės rato ir išeidamos iš antros pusės rato. Kryptis tų jėgų linijų yra ta pati, kaip dešiniojo sraigto kryptis, sukamo taip, kad jis žengtų pirmyn, vadinasi, iš kairės į dešinę pusę. Jeigu per tokį ratą srovę paleistume priešinga kryptimi, tai ir jėgų kryptis bus priešinga, t. y. bus iš dešinės į kairę pusę, kaip kryptis dešiniojo sraigto, sukamo

taip, kad jis eitų atgal (žiūr. 142 piešinio fig. b). Šitos linijos sudaro kilpas ratukų pavidalu, visur statmenai laidininko linijai. Kadangi bet kurioje laidininko vietoje mes turime visą eilę tokių linijų koncentriniais ratais, tai tos linijos susideda ir duoda magnetinį lauką, kuris atrodo, einant srovei iš kairės į dešinę pusę, kaip atvaizduoja fig. a, o einant srovei iš dešinės į kairę pusę, kaip atvaizduoja fig. b. Čia juodais taškais pažymėti pjūviai vielos dviejose vietose, jeigu viela rato pavidalo būtų perkirsta plokštuma statmenai popieriaus plokštumai. Šitas vaizdas aiškiai rodo, kad srovė ratu veikia kaip plonas magnetinis lapas arba kaip plonas magnetinis sluogsnis, kurio viena pusė yra šiaurės polis, o antra pusė pietų polis, nes ta srovė ratu stumia šiaurės magnetinį polį viena savo puse ir traukia tą patį šiaurės polį antra savo puse. Vienu žodžiu, tokia srovė ratu yra plonas magnetas, kurio šiaurės polis bus iš tos pusės, kur, žiūrint, atrodo, kad srovė eina per ratą prieš laikrodžio rodiklį, vadinasi, iš dešinės į kairę pusę, o pietų polis yra iš tos pusės, kur srovė žiūrint eina laikrodžio rodikliu, t. y. iš kairės į dešinę pusę.

Galima padirbti laidininkas iš eilės ratų, sujungtų vienas su kitu, užvyniojant vielą ant cilinderio ir paskui ištraukus šitą cilinderį. Tada laidininkas bus spyruoklio arba vingių linijos pavidalo (žiūr. 143 pieš.) ir jeigu per tokį laidininką eina elektros srovė, tai tada tas laidininkas vadinasi solenoidu. Tai yra ne kas kita, kaip eilė lygiagrečių ir vienodų ratų, kurių centrai randasi ant cilinderio ašies. 143 piešinys atvaizduoja solenoido magnetinį lauką. Tasai laukas yra atstojamasis magnetinių laukų visų atskirų srovių ratais. Aišku, kad čia vienas galas solenoido, būtent, tas, iš kurio magnetinės jėgų linijos išeina, yra šiaurės magnetinis polis, o antrasis, į kurį įeina magnetinės jėgų linijos, yra pietų magnetinis polis. Nereikia užmiršti, kad magnetinės jėgų linijos visuomet yra uždarytos kilpos, taigi visuomet prasideda nuo šiaurės polio, tęsiasi ore arba kitam mediume, įeina į pietų polį ir magneto medžiagoje grįžta atgal į šiaurės polį. Kaip jau mes žinome, ore tos magnetinės jėgų linijos labiau išsklaidytos, geležyje arba pliene jų būna visuomet daugiau, kitaip sakant, magnetinis laukas geležyje arba pliene tirštesnis. Taip ir solenoido vidury magnetinis laukas tirštesnis ir stipresnis kaip išorėje ir toliau nuo solenoido. Solenoido vidury magnetinės jėgų linijos eina lygiagrečiai, sudarydamos vienodo tankumo arba vadinamą homogeninį magnetinį lauką. Ant solenoido galų aiškiai reiškiasi magnetinių linijų dispersija (išsklaidymas) ir todel ant solenoido galų magnetinis laukas nehomogeninis.



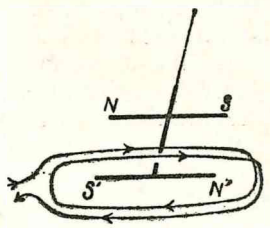
143 pieš.



144 pieš.

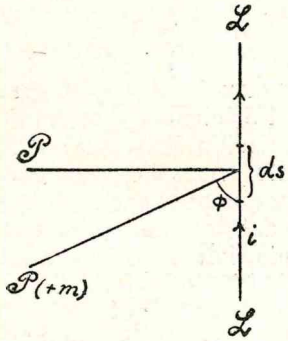
Aišku, kad toksai solenoidas veiks magnetinį polį arba magnetą smarkiau, kaip vienas srovės ratas, ir tiek sykių smarkiau, kiek mes turime srovės vingių. Taigi, apvyniojus magnetinę adatą galvanaskopo ne vienu vielos vingiu, bet n vingiais (sakysime, 10 arba 20 vingių) prie tos pačios srovės adatos atsilenkimas bus n sykių didesnis. Mes tada turėsime vadinamą multiplikatorių arba, kitaip sakant, žymiai jautresnį galvanoskopą, nes to paties stiprumo srovė iššauks žymiai didesnį magnetinės adatos atsilenkimą. 144 piešinys atvaizduoja tokį multiplikatorių. Instrumento šulas remiasi ant trijų sraigtų. Šulas palaiko apskritą lentą, ant kurios padėti du solenoidai greta, su tarpu tarp jų. Abudu solenoidai sudaryti vingiais tos pačios vielos, užvyniojant tą vielą iš pradžios ant vienos špulės ir paskui permetant ją ant kitos špulės, toliau vyniojant ant jos. Vielos vingiai turi būti izoliuoti vienas nuo kito. Taigi, aplamai,

imama ilga viela tirštai apvyniota šilko siūlu arba, aplamai, apvilkta kokia nors izoliuojama medžiaga. Laisvi vielos galai prijungti prie sraigtų, kurie matomi ant apskritos lentos iš pryšakio. Prie tų sraigtų galima prijungti vielomis galvaninio elemento poliai, ir tokiu būdu per abudu solenoidus paleisti elektros srovė. Tarp solenoidų kaba ant siūlo magnetinė adata, kaip rodo 144 piešinys. Siūlas pereina per skylę ciferblato, uždėto ant solenoidų rėmų, ir prie to paties siūlo prijungtas rodiklis, kuris svyruoja ciferblato paviršiumi, svyruojant magnetinei adatai. Ciferblatas turi gradusų padalijimus ir todel adatos atsilenkimo kampas galima atskaityti ant ciferblato. Be to, kaip rodo 144 piešinys, prie pakabinimo siūlo galima prijungti plokščias veidrodis, ir tada galima sekti magnetinės adatos atsilenkimus su pagalba žiūrono ir škalos (žiūr. „Šviesa" 2 §). Prieš vartojant multiplikatorių, jis reikia pastatyti taip, kad jo solenoidų vingių plokštumos būtų lygiagrečios magnetiniam meridianui ir taip, kad magnetinė adata irgi būtų lygiagrečiai magnetiniam meridianui. Bet galime priduoti tokią multiplikatoriui konstrukciją, kuri padarys jo magnetą laisvą nuo įtakos bet kurio išorinio magnetinio lauko, ir žemės magnetinio lauko, ir, sakysime, elektros tramvajaus kabelio magnetinio lauko. Tai atsiekiama vartojant vadinamą astatinį magnetinį porį, kurio schemą atvaizduoja 145 piešinys. Du vienodi ir lengvi magnetai prijungiami prie to paties vertikalio stiebo, bet taip, kad poliai vienas viršuj kito būtų priešingi. Aišku, kad tokiam magnetų poriui žemės magnetinio lauko veikimas bus panaikintas, nes sukamasai poris žemės magnetinio lauko suteiktas apatiniam magnetui bus kompensuotas tokio pat didumo sukamuoju poriu, bet veikiančiu priešingai, suteiktu viršutiniam magnetui. Bet tai bus tik tada, kada abudu magnetai turės lygius magnetinius momentus. Bet ir tada, kada pilnos lygybės nėra, visgi žemės magnetinio lauko veikimas tokiam poriui bus žymiai mažesnis, kaip tuo atveju, kada vartojamas vienas magnetas. Vadinasi, turint multiplikatorių su astatiniu poriu, galima jis vartoti bet kurioj to astatinio porio padėty atžvilgiu magnetinio meridiano plokštumos.



145 pieš.

Be to, kadangi žemės magnetinis laukas priešinasi magneto atsilenkimui, o astatinei sistemai žemės magnetinio lauko veikimas yra kompensuotas, tai toki astatinė sistema nuo tos pačios srovės atsilenks smarkiau, kaip viena magnetinė adata, vadinasi, tokio multiplikatoriaus jautrumas bus didesnis, kaip multiplikatoriaus su viena magnetine adata. 144 piešiny nematyt vertikalio stiebo su abiem magnetinėmis adatomis, nes visa ta sistema, prikabinta prie siūlo, randasi ciferblato apačioje. Pridursime dar, kad reikia suderinti veikimas vieno ir antrojo solenoidų taip, kad jiedu veiktų astatinei sistemai ta pačia prasme. Tai bus tada, kada per vieno solenoido vingius ir per antrojo solenoido vingius srovė eina ta pačia prasme. Jeigu srovė per vieno solenoido vingius eina viena prasme, o per antro solenoido vingius kita prasme, tai veikimas vieno solenoido bus kompensuotas antrojo solenoido veikimu.



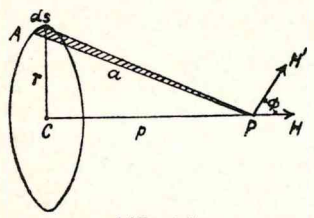
146 pieš.

Mes vėliau pamatysime, kad toks multiplikatorius galima vartoti elektros srovėms sulyginti, arba matuoti, ir tada šitas instrumentas vadinasi galvanometras. Aišku, kad juo stipresnė bus srovė, juo didesnis bus magnetinės sistemos atsilenkimas, ir priešingai. Bet, kad mokėtume nustatyti matematiškai santykius tarp srovės ir atsilenkimo kampo, turime pasipažinti su dėsniais, kuriais veikia srovė magnetiniam poliui.

Tegu per laidininką LL tiesialinės vielos pavidalo eina elektros srovė i ir tegu taške P randasi magnetinis polis stiprumo +m (žiūr. 146 pieš.).

Apskaitymas viso laidininko LL veikimo magnetiniam poliui remiasi elementariniu dėsniu, kurį davė didelis prancūzų mokslininkas Laplace'as netrukus po Oerstedo pastebėjimų, remdamasis bandymais Bioto ir Savarto. Tasai Laplace'o elementarinis dėsnis liečia vadinamos srovės

elemento veikimą magnetiniam poliui. Taigi, paimsime ant laidininko LL labai trumpą atkarpą ds,; ji bus srovės i elementas. Sujungsime vidurį tos atkarpos tiesia linija su magnetiniu poliu P. Tegu Pds bus lygus r ir tegu linija Pds sudaro kampą φ su srovės elementu ds. Tada, einant Laplace'o elementariniu dėsniu, jėga, veikianti magnetiniam poliui $f = \frac{mids}{r^2} \sin\varphi$. Zodžiu, ta jėga yra tiesiog proporcinga magnetinio polio stiprumui, srovei i, elemento ds ilgiui, sinusui kampo, kurį sudaro linija, jungianti polį su elemento viduriu ir atvirkščiai proporcinga kvadratui atokumo elemento ds vidurio nuo polio. Jeigu linija, jungianti polį P su elemento ds viduriu sudaro kampą 90^0 su laidininku, tad $\sin\varphi = 1$ ir jėga, veikianti magnetiniam poliui $f = \frac{mids}{r^2}$. Šita jėga, kaip jau mes žinome, visuomet veikia statmenai plokštumai, ištiestai per elementą ds ir liniją, jungiančią elemento ds vidurį su poliu P. Kad pamatytume, į kurią pusę suksis magnetinis polis, turime pasinaudoti Ampère'o arba Maxwellio taisykle. Aišku, kad sąlygose, kurias atvaizduoja 146 piešinys, šiaurės polis P (+m) suksis iš dešinės į kairę pusę, kitaip sakant, jėga, veikianti poliui, bus statmena popieriaus plokštumai ir bus atkreipta į pryšakį nuo tos plokštumos. Norėdami surasti jėgą, kuria veikia magnetiniam poliui P visas laidininkas, turime integruoti augščiau duotą diferencinę lygtį, kitaip sakant, turime padalyti visą laidininką į elementus, surasti kiekvieno elemento veikimą ir sumuoti visus tuos veikimus. Tada mes gausime: $F = \int_0^L \frac{mids}{r^2} \sin\varphi$. Aišku, kad šita jėga duos mums srovės i magnetinio lauko stiprumą taške P tuo atveju, kada tame taške bus polio vienetas.



147 pieš.

Eidami šituo elementariniu Laplace'o dėsniu, apskaitysime dabar veikimą srovės ratu magnetiniam poliui ant to rato ašies. Tegu ratu stipino AC = r eina srovė i ir tegu ant to rato ašies CH statmenai rato plokštumai randasi šiaurės vieneto polis taške P (žiūr. 147 pieš.). Padalysime rato apskritimą į daugybę labai mažų atkarpų ir paimsime vieną tokią atkarpą ds. Tai bus rato elementas. Sujungsime vidurį to elemento su tašku P linija AP = a. Tegu atokumas taško P nuo rato centro C bus p. Einant Laplace'o dėsniu, jėga nuo rato elemento ds į polį P bus $f = \frac{ids}{a^2}$, kadangi linija AP sudaro čia kampą 90^0 su srovės elemento linija ds. Atsimindami, kad $a^2 = r^2 + p^2$ mes turėsime $f = \frac{ids}{r^2+p^2}$. Šita jėga veikia statmenai plokštumai P — ds (plokštumai, ištiestai per elementą ds ir per liniją, jungiančią to elemento vidurį su tašku P). Sitą jėgą mes galime pakeisti dviem komponentomis, būtent, išilgai ašies PH ir statmenai ašiai. Komponenta statmenai ašiai nuo elemento ds bus kompensuota kita tokia pat komponenta statmenai ašiai, bet atkreipta priešingai, nuo antro elemento ds, kuris randasi ant priešingo galo to pāties diametro. Taigi, aišku, kad tokiu būdu priešingu veikimu elementų ds ant priešingų diametrų galų bus panaikintos visos komponentos statmenai ašiai ir pasiliks tik komponentos išilgai ašies, nes tos komponentos ir nuo elemento ds ant viršutinio diametro galo ir nuo elemento ds ant apatinio diametro galo bus atkreiptos ta pačia prasme. Iš figūros aišku, kad šita komponenta išilgai ašies bus $dH = f\cos\varphi = \frac{ids}{r^2+p^2}\cos\varphi$, jeigu mes raide φ pažymėsime kampą tarp jėgos f ir ašies. Bet jėga f (linija PH') sudaro tiesų kampą su linija AP ir komponenta dH = PH sudaro tiesų kampą su linija Cds = r. Tai reiškia, kad $\angle\varphi = \angle CAP$, kitaip sakant $\cos\varphi = \sin APC = \frac{r}{a} = \frac{r}{\sqrt{r^2+p^2}}$ (žiūr. tiesakampis trikampis ACP). Taigi

gulsčia komponenta $dH = \frac{rids}{(r^2 + p^2)^{3/2}}$. Integruodami per visą rato apskritimą mes gausime visai jėgai gulsčia kryptimi:

$$\int dH = H = \int_0^{2\pi r} \frac{rids}{(r^2 + p^2)^{3/2}} = \frac{2\pi r^2 i}{(r^2 + p^2)^{3/2}}.$$ Perkėlus vienetą šiaurės polį į rato centrą C, p = 0, ir tada jėga statmenai rato plokštumai bus: $H = \frac{2\pi r^2 i}{r^3} = \frac{2\pi i}{r}$

Jeigu rato centre bus padėtas + magnetinis polis stiprumo m, tai tada elektromagnetinė jėga bus $H = \frac{2\pi mi}{r}$, turint vieną vingį laidininko (vieną ratą). Turint n vingių laidininko elektromagnetinė jėga bus: $H = \frac{2\pi nmi}{r}$.

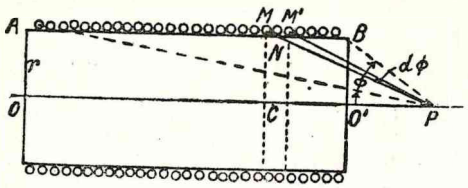
Tiksliai ir Laplace'o elementarinį dėsnį ir reiškinį elektromganetinei jėgai reikėtų parašyti šitaip: $f = k\frac{mids}{r^2}$ ir $H = k\frac{2\pi nmi}{r}$.

Čia k reiškia tam tikrą konstantą (proporcingumo veiksnį). Šito veiksnio didumas pareina nuo vienetų, kuriais matuojama srovė i, magnetinio polio stiprumas m ir stipinas r. Galima tuos vienetus parinkti taip, kad veiksnis k pasidarytų irgi lygus vienetui. Iš tikrųjų srovės, magnetinio lauko ir stipino vienetai yra parinkti taip, kad k = 1 ir todel jis formulose nefigūruoja.

Išeinant iš formulos $H = \frac{2\pi mi}{r}$ galima nustatyti elektromagnetinis srovės vienetas absoliutinėje matų sistemoje. Iš tos formulos išeina: $i = \frac{rH}{2\pi m}$. Aišku, kad i bus lygus vienetui, kada H = 1, m = 1 ir $\frac{r}{2\pi} = 1$. Žodžiu, elektromagnetinis srovės vienetas bus toki srovė, kuri tekėdama per lanką stipino 1 cm. ir ilgio 1 cm. sudaro centre to lanko vienetą magnetinio lauko arba veikia magnetinio polio vienetą centre lanko vienos dinos jėga. Dažnai šitą srovės vienetą vadinama weberiu, nes tasai vienetas nustatytas remiantis didelio vokiečių fiziko Weberio tyrinėjimais. Praktikoje vartojamas srovės vienetas amperas sudaro $^1/_{10}$ dalį šito elektromagnetinio vieneto. Žiūrint į elektros srovę kaipo į kažkokio nesuspaudžiamo skysčio tekėjimą kanalu, reikia pripažinti, kaip hidrodinamikoje, kad per tą patį laiką bet kurioje laidininko vietoje per jo skerspjūvį pereina tas pats elektros kiekis. Tai įgalina mus nustatyti elektros kiekio vienetą elektros judėjimo atžvilgiu. Mes vadiname elektromagnetinio elektros kiekio vienetu tokį elektros kiekį, kuris, esant srovės vienetui, eina per laidininko skerspjūvį bet kurioje laidininko vietoje. Tegu mes turime srovę i, išreiškią elektromagnetiniais vienetais, ir tegu per laiką t sekundų per laidininko skerspjūvį visur pereina q elektromagnetinių elektros vienetų. Tad q = it. Vadinasi, elektros kiekis yra lygus sandaugai iš srovės į laiką. Praktiškai mes sakome, kad mes turime srovę 1 ampero tada, kada per laidininko skerspjūvį visur per 1 sekundą eina 1 kulonas elektros.

Atkreipsime dabar jau dėmesį į ypatingą santykį tarp elektrostatinio ir elektromagnetinio elektros kiekio vienetų. Elektrostatinis elektros vienetas nustatytas Kulono dėsniu: $f = \frac{e_1 e_2}{r^2}$ arba $f = \frac{e^2}{r^2}$, jeigu mes paimsime du vienodu elektros kiekius (e_1, e_2 reiškia čia elektros kiekius). Iš čia išeina $e = r\sqrt{f}$ arba $e = r\sqrt{Mg}$, nes jėga f=Mg. Čia M reiškia masę, o g greitėjimą. Bet greitėjimas $g = \frac{L}{T^2}$ ir r irgi yra ilgis L. Taigi $e = L\sqrt{\frac{ML}{T^2}} = M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}$. Tai yra išmatavimas elektros kiekio vieneto absoliutinėje matų sistemoje, nustatyto remiantis elektrostatiniu veikimu (apie apibrėžimą šito elektrostatinio elektros vieneto žiūr. 4 §, sąryšy su Kulono dėsniu).

Elektromagnetinį elektros vienetą mes nustatėme eidami formula $i = \frac{rH}{2\pi m}$ arba $it = q = \frac{rHt}{2\pi m}$. Žinant, kad r yra ilgis L, H yra jėga, vadinasi, jos matas yra $\frac{ML}{T^2}$ ir m yra magnetinė masė, kurios matai nustatomi remiantis tuo pačiu Kulono dėsniu, kaip ir matai elektrostatinio elektros kiekio, kitaip sakant, magnetinės masės M matai yra $M^{1/2}L^{3/2}T^{-1}$, mes gausime elektromagnetiniam elektros kiekiui arba elektromagnetiniam elektros vienetui šį išmatavimą: $q = \frac{rHt}{2\pi m} = \frac{LMLT}{2\pi T M^{1/2}L^{3/2}T^{-1}} = M^{1/2}L^{1/2}$. Paimsime dabar santykį tarp elektrostatinio elektros vieneto mato ir elektromagnetinio elektros vieneto mato. Tad gausime: $\frac{M^{1/2}L^{3/2}T^{-1}}{M^{1/2}L^{1/2}} = LT^{-1} = \frac{L}{T}$ = greitumas, nes T čia, aplamai, reiškia laiko ženklą. Taigi išeina, kad elektrostatinio elektros vieneto ir elektromagnetinio elektros vieneto santykis turi greitumo pobūdį, paprastai yra lygus tam tikram greitumui. Minėto jau Weberio ir kitų fizikų matavimais buvo nustatyta, kad santykis tarp šitų dviejų elektros vienetų yra lygus $3{,}10^{10}$ cm. per sekundą. Kitaip sakant, pasirodo, kad šitas santykis yra lygus šviesos greitumui. Mes vėliau pamatysime, kad šitas faktas buvo pagrindu elektromagnetinių bangų ir elektromagnetinei šviesos teorijai.



148 pieš.

Grįšime dabar prie srovės sudaryto magnetinio lauko ir apskaitysime magnetinį lauką bet kuriam taške ant solenoido ašies. Tegu AB atvaizduoja vertikalį pjūvį išilgai solenoido (žiūr. 148 pieš.) ir OP atvaizduoja solenoido ašį (ratukai atvaizduoja solenoido vielos vingių pjūvius). Paimsime ant ašies tašką P ir apskaitysime magnetinę jėgą tame taške P, kitaip sakant, magnetinio lauko stiprumą. Tam tikslui paimsime labai trumpą dalį solenoido MM' = dx ir priimsime, kad x = CP = atokumui centro paimtos solenoido trumpos dalies nuo taško P. Tegu toliau solenoido ilgis bus L ir skaičius solenoido vingių n ir tegu per solenoidą teka srovė i. Tad vingių skaičius trumpoje solenoido dalyje MM' bus $\frac{ndx}{L}$ ir magnetinio lauko stiprumas taške P, kuris pareina nuo šito solenoido elemento MM', bus $dH = \frac{2\pi r^2 nidx}{L(r^2+x^2)^{3/2}}$ (žiūr. 147 pieš. ir išvadą sąryšy su situo piešiniu). Cia r reiškia solenoido stipiną (r = Cn). Pažymėsime dar kampą, kurį sudaro linija AP, jungianti vidurį elemento MM' su tašku P, su solenoido ašimi, raide φ. Tad iš trikampio NCP išeina: Cn=CPtgφ arba r = xtgφ, arba $x = \frac{r}{tg\varphi} = rctg\varphi$. Diferencijuodami šitą paskutinę lygtį gausime: $dx = -\frac{rd\varphi}{\sin^2\varphi}$. Pakeisdami lygtyje dH x ir dx šitomis vertėmis, mes gausime: $dH = -\frac{2\pi ni \sin\varphi\, d\varphi}{L}$. Kad atrastume lauko intensingumą taške P nuo visų solenoido vingių, turime sudėti veikimą visų solenoido elementų MM^1, t. y. turime integruoti paskutinę differencinę lygtį ribose $\varphi_1 = \angle BPO$ ir $\varphi_2 = \angle APO$, nes šitose ribose kinta kampas tarp solenoido ašies ir linijos, jungiančios vidurį solenoido elemento MM' su tašku P įvairiose solenoido vietose. Atlikę šitą integravimą mes gausime: $H = \frac{2\pi ni}{L}(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1)$.

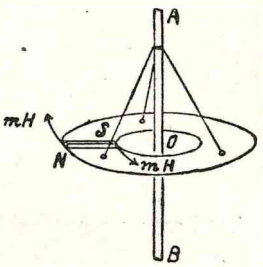
Jeigu sakysime, kad solenoido ilgis L yra didelis sulyginti su solenoido stipinu r, ir paimsime tašką P ant solenoido ašies solenoido vidury, tai mes turėsime kampą φ_1 =

$= 180^0$ ir $\varphi_2 = 0^0$ (tiksliai kalbant, kampas φ_1 nebus lygus 180^0, bet truputį mažesnis kaip 180^0, bet labai nedaug tesiskirs nuo 180^0). Tokiomis sąlygomis iš privestos lygties magnetinio lauko stiprumui taške P mes gausime:

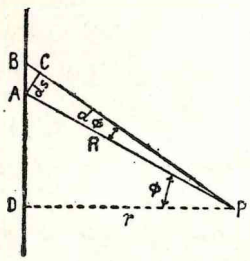
$$H = \frac{2\pi ni}{L}\left(1 - (-1)\right) = \frac{4\pi ni}{L}.$$

Tai bus reiškinys magnetinio lauko stiprumui solenoido vidury arba arti nuo vidurio, ta vienok sąlyga, kad solenoido stipinas yra mažas sulyginti su jo ilgiu. Kadangi ant solenoido galų $\varphi_1 = 90^0$ ir $\varphi_2 = 0$ arba $\varphi_2 = 90_2$ ir $\varphi_1 = 0$, tai solenoido galams veikia santykis: $H = \frac{2\pi ni}{L}$. Taigi, šita formula galima apskaityti magnetinio lauko stiprumą ant ilgo solenoido cilinderio galų.

Pažiūrėsime dabar, koksai susidaro magnetinis laukas apie ilgą tiesialinį laidininką ir koksai to lauko stiprumas. Tegu AOB bus vertikalis laidininkas (žiūr. 149 pieš.) ir tegu ant disko, kuris gali suktis apie laidininką, bus padėtas magnetas NS. Pažymėsime magneto polius iš eilės ženklais $+m$ ir $-m$, tų polių atokumus nuo centro O iš eilės raidėmis r_1 ir r_2 ir magnetinio lauko stiprumus polių vietose iš eilės raidėmis H_1 ir H_2. Tad sukamieji jėgų momentai apie tašką O bus mH_1r_1 ir $-mH_2r_2$. Bandymai rodo, kad aprašytomis čia sąlygomis nėra jokio sukimo. Tai reiškia, kad sukamieji jėgų momentai tokiomis sąlygomis yra lygūs ir atkreipti vienas prieš antrąjį. Vadinasi, $mH_1r_1 = mH_2r_2$, o iš to: $\frac{H_1}{H_2} = \frac{r_2}{r_1}$. Žodžiu, lauko stiprumas, kuris pareina nuo srovės tiesialiniam laidininke, yra atvirkščiai proporcingas atokumui nuo laidininko. Šitas faktas yra žinomas Bioto ir Savarto dėsniu, nes šitie du Prancūzijos fizikai nustatė šitą dėsnį tiesioginiais bandymais. Pridursime tik čia, kad šitas dėsnis išeina iš minėto elementarinio Laplace'o dėsnio, ir priešingai, remiantis empiriniu Bioto ir Savarto dėsniu galima prieiti elementarinį Laplace'o dėsnį.



149 pieš.



150 pieš.

Apskaitysime dabar magnetinio lauko stiprumą apie tiesialinį ilgą laidininką (neapriboto ilgio). 150 piešinys atvaizduoja dalį tokio laidininko. Tegu per jį eina srovė i. Paimsime tašką P statmenam atokume r nuo laidininko ir padėsime tame taške magnetinį polį $+m$. Padalysime laidininką į be galo didelį skaičių trumpų atkarpų AB. Veikimas šito srovės elemento magnetiniam poliui $+m$ bus, einant Laplace'o dėsniu,

$$\frac{mi.AB}{R^2}\sin A = \frac{mi.AB}{R^2}\sin(90^0 - \varphi) = \frac{mi.AB}{R^2}\cos\varphi.$$

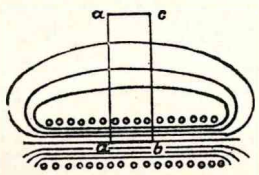
Čia $R = AP$ yra atokumas paimto srovės elemento nuo polio $+m$ ir $A = 90^0 - \varphi$ yra kampas, kurį sudaro linija AP su srovės elementu. Ištiesime statmenį $AC = ds$ iš taško A linijai $AP = R$. Tai bus projekcija srovės elemento AB statmenai AP ir $\angle BAC$ bus lygus φ, nes tų kampų šonai bus sudaryti atatinkamai statmenomis linijomis. Tad $ds = AB\cos\varphi$, iš kur išeina $AB = \frac{ds}{\cos\varphi}$. Pakeisdami šita verte AB Laplace'o formuloje mes gausime magnetinio lauko stiprumui taške P reiškinį: $\frac{mids}{R^2}$. Bet iš trikampio ADP eina $r = R\cos\varphi$ arba $R = \frac{r}{\cos\varphi}$. Pakeičiant paskutinėje formuloje magnetinei jėgai R šita verte, magnetinė jėga taške P bus $\frac{mids}{r^2}\cos^2\varphi$. Bet

$ds = Rd\varphi = \frac{rd\varphi}{\cos\varphi}$. Taigi magnetinio lauko, sudaryto srovės elemento AB taške P, stiprumas bus: $\frac{mird\varphi}{r^2\cos\varphi}\cos^2\varphi = \frac{mid\varphi\cos\varphi}{r}$. Kampas φ kalbamuoju atveju gali keistis ribose $+\frac{\pi}{2}$ ir $-\frac{\pi}{2}$. Taigi, kad atrastume magnetinę jėgą, kuri veikia polį + m ir kuri pareina nuo viso laidininko, turime integruoti reiškinį veikimui srovės elemento AB ribose $\varphi = +\frac{\pi}{2}$ ir $\varphi = -\frac{\pi}{2}$. Tad mes gausime:

$$H = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \frac{mid\varphi\cos\varphi}{r} = \frac{mi}{r}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos\varphi d\varphi = \frac{2mi}{r}.$$

Kadangi mes lauko stiprumu, arba intensingumu, vadiname magnetinę jėgą, veikiančią polio vienetą, tai tiesialinio laidininko, per kurį eina srovė i, magnetinio lauko intensingumas taške P bus: $H = \frac{2i}{r}$.

Šita magnetinė jėga stengiasi sukti magnetinį polį apie laidininką ir iš tikrųjų suka jį. Taigi varant magnetinį polį + m statmenam atokume r nuo tiesialinio laidininko prieš magnetinę jėgą, mes atliksime darbą: $\frac{2im}{r}.2\pi r = 4\pi im$ arba, kitaip sakant, srovė atliks $4\pi im$ ergų darbo, apsukant polį + m apie laidininką, arba atliks $4\pi i$ ergų darbo apsukant vieneto polį apie laidininką. Žinodami tą faktą mes galime kitu keliu surasti formulą magnetinio lauko stiprumui ant solenoido ašies, netoli jo vidurio. 151 piešinys atvaizduoja solenoidą, kurio vidury mes turime homogeninį magnetinį lauką. Paimsime uždarytą kelią abcd taip, kad dalis to kelio ab eitų per solenoido centrą lygiagrečiai jėgų linijoms, dalys ad ir bc būtų statmenos toms jėgų linijoms ir dalis dc būtų tokioj srity magnetinio lauko, kur lauko stiprumas jau mažai skiriasi nuo nulio arba yra lygus nuliui. Kitaip sakant, paimsime tokį uždarytą kelią abcd, kad to kelio dalys ad ir bc statmenai jėgų linijoms būtų neapribotai ilgos. Varant šituo keliu magnetinį polį + m, darbas bus atliktas tik išilgai ab, nes tik šita kryptimi reikės pergalėti magnetinės jėgos pasipriešinimą, jeigu polis bus varomas priešinga kryptimi, kaip eina magnetinės jėgų linijos. Pažymėję magnetinio lauko stiprumą centre solenoido raide H, atliktas čia darbas bus H. m. ab. Tegu solenoido ilgis bus L ir jo vingių skaičius n. Tad vingių skaičius per solenoido ilgį ab bus $\frac{n}{L}$ ab, ir darbas atliktas srovės atžvilgiu polio + m bus $4\pi mi.\frac{n}{L}$. ab, jeigu per solenoido vingius eina srovė i. Bet H. m. ab = $4\pi mi.\frac{n}{L}$. ab, iš to eina: $H = \frac{4\pi ni}{L}$, —magnetinio lauko stiprumas bet kuriam taške ilgo solenoido vidury netoli nuo jo centro. Taigi, ir šituo keliu mes prieiname tą pačią formulą magnetinio lauko stiprumui solenoido vidury, kaip ir metodu, kurį atvaizduoja 148 piešinys.

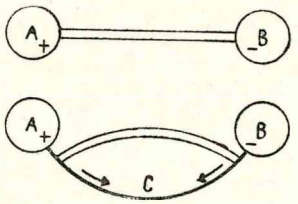


151 pieš.

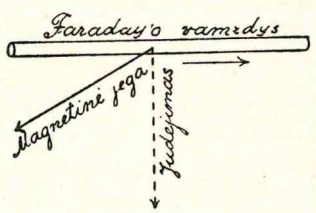
Oerstedo išradimas ir visa tai, kas čia sąryšy su šituo išradimu buvo apsvarstyta, rodo, kad elektros srovė nėra tik paprastas slinkimas elektros laidininke arba išilgai laidininko, bet kad tame elektros slinkime dalyvauja visa sritis apie laidininką, nes apie laidininką, per kurį eina elektros srovė, susidaro magnetinis laukas statmenai laidininkui.

Remiantis 4 ir 5 §§ išdėstyta Faraday'aus koncepcija jėgų linijų ir jėgų vamzdelių galima interpretuoti visi elektromagnetinio lauko fenomenai kaipo išdava Faraday'aus vamzdelių judėjimo, kuris visuomet yra surištas su elektros įlydžių judėjimu.

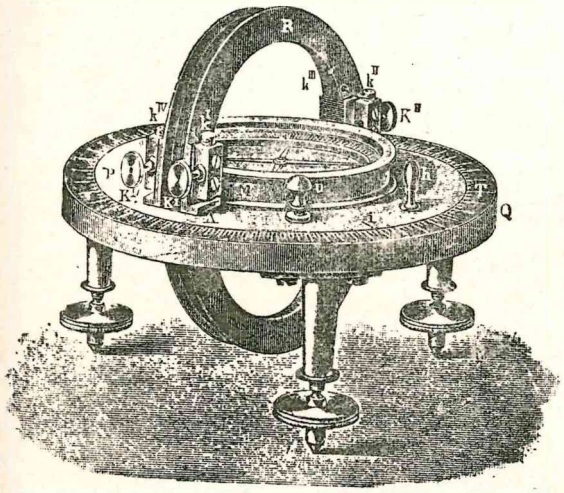
Tegu kūnai A ir B turi + ir — įlydžius (žiūr. 152 pieš.). Tie įlydžiai sujungti einant Faraday'u elektros jėgos linijomis arba elektros jėgos vamzdeliais. Sujungus kūnus A ir B viela C (žiūr. 152 pieš.), galai jėgų linijų ims slinkti išilgai vielos C, nes, kaip jau mes žinome, jėgų linijos susitraukia laidininkuose ligi molekulinių išmatavimų, kada priešingi įlydžiai susijungia. Taigi laidininke C mes turėsime susirietimą jėgų linijų, kol jų galai sueis, ir jų susitraukimą ligi molekulinių išmatavimų, vadinasi, turėsime ypatingą elektros jėgų linijų judėjimą. Bet, kol tęsis toksai judėjimas, statmenai elektros jėgos linijoms, ir tuo pačiu laiku statmenai tų linijų judėjimo krypčiai bus magnetinės jėgų linijos. 153 piešinys atvaizduoja šituos santykius. Viršuj atvaizduotas Faraday'aus vamzdelis. Iešma, atkreipta žemyn, rodo to vamzdelio judėjimo kryptį. Statmenai šitai linijai, atkreiptai žemyn ir tuo pačiu laiku statmenai jėgos vamzdeliui (tai yra statmenai popieriaus plokštumai) veikia magnetinė jėga. Jeigu mes ištiesime smagurį ir atlenksime nykštį ir vidurinį pirštą taip, kad jie sudarytų tarp savęs ir su smaguriu tiesius kampus, tai šitie trys pirštai iš eilės duoda elektros jėgos kryptį, elektros jėgos judėjimo kryptį arba elektros srovės kryptį ir magnetinės jėgos kryptį. Taigi turėdami, sakysime elektros srovę iš galvaninio elemento, mes turėsime nuolatinį atgaivinimą susirietusių elektros linijų, kitaip sakant, turėsime elektros linijų sriautą išilgai laidininko ir magnetinį lauką statmenai laidininkui ir statmenai elektros jėgos linijoms. Šitą elektros srovės ir magnetinio lauko koncepciją gerai išplėtė Maxwellis. Su jo pažiūromis mes turėsime progos pasižinti vėliau.



152 pieš.



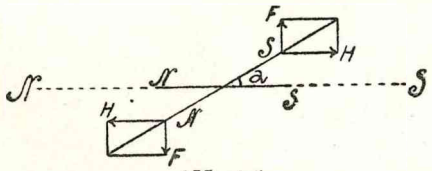
153 pieš.


154 pieš.

Išdėstytais čia dėsniais tarpusavio veikimo srovės ir magnetinio lauko remiasi įvairių rūšių galvanometrai arba instrumentai srovėms matuoti. Yra du tipai tokių instrumentų: vienam laidininkas, per kurį leidžiama srovė, nejudomas; o magnetas arba magnetinis laukas judomas; antrame — priešingai, magnetinis laukas nejudomas, o judomai padėtas laidininkas arba solenoidas, per kurį eina srovė. Visų pirma aprašysime du galvanometrus pirmojo tipo ir pradėsime nuo pagrindinio instrumento srovėms matuoti, kurį atvaizduoja 154 piešinys. Tai yra tangens-galvanometras. Mes čia turime vertikalį medinį arba varinį žiedą R rato pavidalo, apsuptą izoliuota viela keletu vingių, keliasdešimt vingių arba net keliais šimtais vingių. Laisvi tos vielos galai prijungti prie sraigtų K K^{IV}. Prijungę prie šitų sraigtų srovės išteklių, mes paleisime per vielos vingius elektros srovę. Dažnai žiedas R aprūpinamas dviem arba net trimis atskiromis vingių grupėmis. Kiekvienos vingių grupės galai prijungiami prie atskirų sraigtų (žiūr. sraigtai K K). Pačiame žiedo R centre gulsčioje plokštumoje randasi trumpas magnetas, kuris su pagalba skrybėliuko užmautas ant štifto, kaip užmaunama magnetinės

busolės adata. Tasai magnetas sujungtas su rodikliu plonos ir siauros aluminijo plokštelės pavidalo. Rodiklis sudaro su magneto ašimi tiesų kampą ir rodiklio galai slenka išilgai ciferblato, padalyto į gradusus. Dėžė, kurioje randasi magnetas su rodikliu, užvožta stiklu. Prieš vartojant šitą instrumentą reikia žiedas R pastatyti taip, kad jo plokštuma būtų lygiagreti magnetiniam meridianui, t. y. pastatyti taip, kad magnetas būtų žiedo R plokštumoje ir taip, kad magneto ašis sutaptų su gulsčiu žiedo diametru. Kad tas būtų atsiekta, žiedas R kietai sujungtas su disku, kuris galima sukti paėmus už rankenos h vidury gulsčio žiedo Q, kurio apskritimas padalytas irgi į gradusus ir aprūpintas noniusais. Jeigu nebūtų žemės magnetinės jėgos, tai nustačius žiedą R taip, kad magnetas būtų jo plokštumoje, ir paleidus srovę per žiedo R vingius, magnetas atsilenktų ir nusistatytų statmenai žiedo R plokštumai. Taigi, kad tiksliai būtų surasta magnetinio meridiano būklė, žiedas R pasukamas taip, kad jo plokštuma apytikriai sudarytų tiesų kampą su magnetinio meridiano plokštuma. Tai daroma vadovaujantis instrumento magnetu, nes tasai magnetas visuomet bus magnetinio meridiano plokštumoje. Nustačius taip, leidžiama srovė per žiedo vingius. Jeigu bus pastebėtas šioks toks magneto atsilenkimas arba krūptelėjimas, tai reiškia, kad magnetas nesudaro dar tiesaus kampo su žiedo plokštuma, kitaip sakant, tai reiškia, kad žiedo plokštuma nėra dar nustatyta statmenai magnetiniam meridianui. Tad gulsčias diskas, su kuriuo sujungtas žiedas R, sukamas už rankenos h atsargiai į vieną ar į kitą pusę, paleidžiant laikas nuo laiko srovę per vingius tokia kryptimi, kad atkreipta į šiaurę rato pusė būtų šiaurės polių, kol bus atsiekta tokia žiedo R būklė, kad, paleidus srovę, magnetas nebeatsilenktų. Tai reiškia, kad magnetas sudaro tiesų kampą su žiedo R plokštuma ir, vadinasi, kad žiedas R sudaro tiesų kampą su magnetiniu meridianu. Dabar vadovaujantis noniusais reikia tik pasukti žiedas tiksliai kampu 90°. Tada žiedo plokštuma bus lygiagreti magnetinio meridiano plokštumai ir magnetas bus žiedo plokštumoje. Be to, prieš nustatant žiedą R lygiagrečiai magnetiniam meridianui, reikia su pagalba statainio suteikti gulsčią būklę gulsčiam ratui Q ir vertikalę būklę žiedui R, veikiant trimis sraigtais, kuriais instrumentas stovi ant stalo. Pagaliau reikia pasirūpinti, kad magneto ašis ir rodiklis sudarytų tiesų kampą, kas bus tada, kada esant magnetui magnetiniam meridiane rodiklio galai rodys į nulius. Dažnai ciferblatas būna judomas, t. y. jis galima šiek tiek pasukti tai į vieną tai į antrą pusę mygtuku u. Tokiais atvejais gali atsitikti, kad ciferblato nuliai randasi ant diametro galų, kuris nesudaro tiesaus kampo su žiedo R plokštuma, esant tam žiedui magnetiniam meridiane. Tada, atskaičius cifras ties rodiklio galais, reikia apversti magnetas su rodikliu ir užmauti magnetas ant smaigalio taip, kad rodiklis būtų viršuj, o magnetas apačioj, jeigu iš pradžios rodiklis buvo apačioj, o magnetas viršuj. Apvertus, rodiklis turi rodyti tuos pačius skaitmenis, jeigu jo linija sudaro tiesų kampą su magneto ašimi. Jeigu to nėra, tai reikia pataisyti, kol rodiklis rodys tuos pačius skaitmenis ir vienoje ir antroje būklėje. Paruoštas tokiu būdu instrumentas tinka tiksliems matavimams.

Prijungus vielomis polius elektros ištekliaus prie žiedo apsukos galų su pagalba sraigtų K^{I} ir K^{IV} (arba K^{II} ir K^{III}) bus paleista elektros srovė ir per apsukos vingius, ir susidariusi elektromagnetinė jėga stengsis pastatyti magnetą statmenai rato R plokštumai. Žemės magnetinė jėga (gulsčia komponenta H) priešinsis tam ir stengsis palaikyti magnetą magnetinio meridiano plokštumoje. Taigi kiekvieną magneto polį veiks dvi jėgos: gulsčia komponenta žemės magnetizmo H veiks lygiagrečiai magnetiniam meridianui, o elektromagnetinė srovės jėga F veiks statmenai tam magnetiniam meridianui (statmenai žiedo R plokštumai), kaip rodo 155 piešinys. Taigi, magneto polius veiks du jėgų sukamieji poriai: poris HH, kuris suks magnetą į magnetinį meridianą, ir antrasis poris FF, kuris suks magnetą statmenai magnetiniam meridianui (155 piešiny magnetininio meridiano būklė atvaizduota punktyrų linija NS, gulsčia žemės magnetizmo komponenta H atvaizduota ltnija SH su iešma ir elektromagnetinė srovės jėga



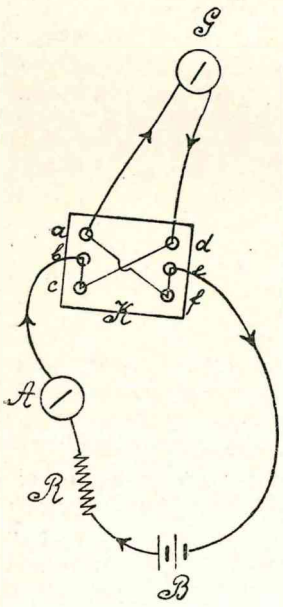
155 pieš.

atvaizduota linija SF). Taigi magnetas tų dviejų sukamųjų porių įtakoje nusistatys savo ašimi išilgai atstojamosios jėgų H ir F, kaip rodo 155 piešinys, vadinasi, atsilenks iš magnetinio meridiano plokštumos tam tikru kampu α. Iš 155 pieš. figūros aišku, kad $F = H \operatorname{tg} \alpha$, pasiekus magnetui pusiausvyros būklę, arba $F = mH\operatorname{tg}\alpha$, kada ant magneto galų randasi ne polio vienetai, bet poliai + m ir — m. Pažymėsime dabar žiedo R stipiną raide R ir žiedo apsukos vingių skaičių raide n. Tad, kaip mes jau žinome, elektromagnetinė jėga bus $\frac{2\pi m n i}{R}$, vadinasi, $F = \frac{2\pi m n i}{R} = m\ H\ \operatorname{tg}\alpha$, iš kur išeina $i = \frac{RH}{2\pi n} \operatorname{tg}\alpha$. Kadangi žiedo stipinas R, žemės gulsčia kompotenta H matavimo laiku ir vingių skaičius n yra fiksuoti (nuolatiniai) dydžiai, tai dydis $\frac{RH}{2\pi n} = C$ yra instrumento konstanta, kuri visuomet galima iš anksto apskaityti žinant R, H ir n arba išmatavus žiedo stipiną R, gulsčią žemės komponentą H ir suradus atskirais bandymais vingių skaičių n. Taigi $i = C \operatorname{tg}\alpha$. Vadinasi, matuojamos srovės santykiuos čia kaip tangentės atsilenkimo kampų. Todel šitas instrumentas vadinasi tangens - busolė arba tangens-galvanometras. Bet juo galima nustatyti ne tik srovių santykiai. Žinant arba suradus R, H ir n, kitaip sakant, apskaičius instrumento konstantą C, bus surasta absoliutinė srovės vertė. Formuloje $i = \frac{RH}{2\pi n} \operatorname{tg}\alpha$ srovė i bus išreikšta absoliutiniais elektromagnetiniais vienetais. Norint išreikšti srovę amperais, reikia turėti galvoj, kad vienas amperas yra $^1/_{10}$ dalis absoliutinio elektromagnetinio srovės vieneto. Tad mes turėsime formulą: $i_a = \frac{10RH}{2\pi n} \operatorname{tg}\alpha = \frac{5RH}{\pi n} \operatorname{tg}\alpha$. Aišku, kad vartojant instrumentą kaipo tangens - busolę, mes galėsime matuoti sroves nuo 0 ligi ∞, nes šitose ribose keičiasi tangentė kampo, kada kampas auga nuo 0 ligi 90°. Bet kadangi kampo ribos apribotos, o tangentės ribos neapribotos, tad aišku, kad instrumento jautrumas, ypač augant atsilenkimo kampams, mažės. Aplamai, instrumento jautrumas čia neperdidelis. Be to, formula elektromagnetinei jėgai $F = \frac{2\pi ni}{R}$ turi galios tik tada, kada rato R centre randasi magnetinis polis. O čia mes turime tam tikro ilgio magnetą. Taigi tą formulą galima taikinti tik tol, kol magneto ilgis yra mažas dydis sulyginti su rato R diametru. Todel ir reikia imti kiek galint trumpesnis magnetas.

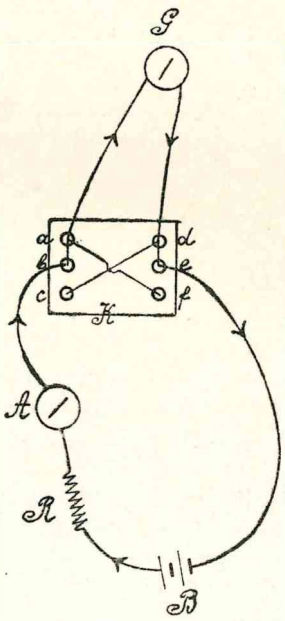
Labai dažnai magnetas kaba ant plono siūlo (apvituro siūlo, kad užsukimo pasipriešinimas būtų kuo mažiausias), kurio viršutinis galas užkabintas ant kabliuko, kuris randasi apačioj viršutinės žiedo R dalies. Prijungus prie siūlo plokščią veidroduką galima matuoti atsilenkimo kampai su pagalba žiūrono ir skalos, vadinasi, žymiai tiksliau. To instrumento jautrumas pareina, kaip rodo formula $\operatorname{tg}\alpha = \frac{2\pi ni}{RH}$, nuo žiedo R stipino arba diametro ir nuo apsukos vingių skaičiaus. Tasai jautrumas didėja didinant vingių skaičių ir mažinant žiedo diametrą. Bet, kaip jau mes matėme, reikia imti žiedas, sulyginti, didelio diametro, nuo 20 ligi 40 cm., kad jo centre nuo srovės susidarytų homogeninis magnetinis laukas, nes tiktai tokiam homogeniniam laukui galima taikinti formula $F = \frac{2\pi ni}{R}$. Antra vertus, didindami vingių skaičių mes didinsime ir pasipriešinimą, vadinasi, sílpninsime srovę, taip kad, aplamai, šituo instrumentu galima matuoti vidutiniškos srovės, nepersilpnos ir neperstiprios. Silpnos srovės duos labai mažų atsilenkimų, o stipresnės srovės duos atsilenkimų kampu per 60°, o jau tada mes nebeturėsime homogeninio lauko.

156 ir 157 piešiniai atvaizduoja schemą sujungimo tangens - galvanometro su batareja, matuojant sroves. Šitoje schemoje G reiškia galvanometrą, B reiškia galvaninę batareją, A reiškia ampermetrą (kuris patikrinamas tangens-galvanometru), R reiškia reostatą ir K reiškia komutatorių. Pastarasis reikalingas čia tam, kad galima

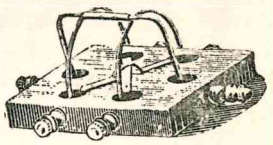
būtų per galvanometrą paleisti srovė viena ir antra kryptimi. Tai reikalinga, kad būtų sumažinta ekscentriciteto klaida arba kada magnetas pakabintas ant siūlo, tai ir nevienodo užsukimo klaida, atskaitant magneto atsilenkimus į vieną ir į antrą pusę ir imant iš tų atskaitymų aritmetinį vidurį. Komutatorių atvaizduoja 158 piešinys. Tai yra gyvojo sidabro komutatorius. Mes čia turime lentą, kurioje išskaptuotos šešios skylės, po tris arti nuo vieno ir nuo antro lentos galo. Į šitas skyles įdėtos varinės plokštelės, sujungtos su sraigtais ant lentos šonų. Visos skylės pripiliamos gyvojo sidabro, kad būtų sudarytas geras kontaktas tarp metalinių komutatoriaus dalių. Be to, storais variniais virbalais kryžmais sujungtos 4 šoninės duobelės. Abudu virbalai neprivalo liesti vienas antro. Į vidurines duobeles įstatomos varinės vadinamo ožio kojos. Tasai ožys susideda iš ebonito cilinderio arba ebonito sijos (su rankena arba be rankenos), per kurio galus praleisti du variniai lankai metališkam kontakte su kojomis. Iš piešinio aišku, kad ožys galima apversti į vieną arba į antrą pusę. Abiem atvejais ožio kojos pasilieka vidurinėse duobelėse, o lankų galai įeina į duobeles vienu atveju iš vienos, o antruoju atveju iš antros lentos pusės (prašom sulyginti 158 piešinį su 156 ir 157 piešiniais). Batarejos poliai prijungiami arba prie vidurinių duobelių su pagalba sraigtų, o galvanometras prijungiamas prie šoninių sraigtų iš vienos ar iš antros lentos pusės, arba atbulai, t. y. batareja prie šoninių sraigtų, o galvanometras prie vidurinių. Tegu batarejos + ir — poliai bus prijungti per reostatą R ir ampermetrą A, kaip rodo piešiniai 156 ir 157, prie vidurinių komutatoriaus sraigtų b e. Kol ožys neapverstas į vieną ar į kitą pusę, srovė neis. Tegu galvanometro sraigtai sujungti vielomis su sraigtais a ir d. Įdėsime ožį ir paversime jį taip, kad varinių lankų galai įeitų į duobeles a ir d (žiūr. 157 piešinį). Dabar + srovė iš vidurinio sraigto b per gyvąjį sidabrą pateks į ožio koją, ir kadangi ta koja metališkai sujungta su lanku, tai srovė pateks į lanką, į gyvąjį sidabrą duobelės a, iš ten į galvanometrą, apibėgs galvanometro vingius, grįš į duobelę d, į kurią įeina antro lanko galas, per lanką grįš į ožio antrą koją ir per šitą koją ir vidurinį sraigtą e grįš į batareją. Vadinasi, srovė apibėgs galvanometro vingius viena kryptimi, kaip rodo iešmutės. Apvertus ožį į kitą pusę, taip kad jo lankų galai įeitų į duobeles c ir f, kaip rodo 156 piešinys, mes turėsime šį srovės kelią: iš vidurinio sraigto b per ožio koją ir lanką į sraigtą c, iš čia per varinį virbalą į sraigtą d ir jau iš to sraigto į galvanometrą, iš galvanometro į sraigtą a, nuo to sraigto per virbalą į sraigtą f, iš ten per ožio lanką į koją atgal į batareją. Taigi, dabar srovė apibėgs galvanometro vingius priešinga kryptimi kaip buvo pirmąsyk.



156 pieš.



157 pieš.

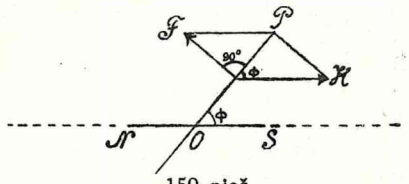

158 pieš.

Galvanometras, kurį atvaizduoja 154 piešinys, galima vartoti dar kitaip, būtent, kaipo sinus - busolę. Gulsčias galvanometro diskas, su kuriuo sujungtas vertikalis galvanometro ratas, galima sukti ir todel sekti žiedu R magneto atsilenkimą, nustatant šitą žiedą taip, kad atsilenkęs iš magnetinio meridiano plokštumos magnetas būtų žiedo

R plokštumoje, vienu žodžiu, galima žiedas R nustatyti taip, kad jis sudarytų tą patį kampą su magnetiniu meridianu, kaip ir magnetas. Šitas kampas atskaitomas su pagalba dviejų noniusų ant gulsčio žiedo TQ, kurio vidury sukasi gulsčias skritulys kartu su vertikaliu žiedu R. Tokią padėtį magneto ir rato R atvaizduoja schematiškai 159 piešinys. Čia linija NS reiškia magnetinio meridiano kryptį, linija N'S' reiškia srovės atlenkto magneto ašies kryptį. Bet kalbamuoju atveju atlenkto magneto ašis sutampa su gulsčio rato R diametru. Taigi kiekvieną magneto polį veikia dvi jėgos: viena S_1H žemės magnetizmo gulsčia komponenta lygiagrečiai magnetiniam meridianui, antra S_1F srovės elektromagnetine jėga statmenai rato R plokštumai, vadinasi, statmenai magneto ašiai. Aišku, kad magnetas, atlenktas, sakysime, kampu φ iš magnetinio meridiano plokštumos, bus pusiausvyroje, kada S_1P atstojamoji jėgų H ir F eis išilgai magneto ašies, kaip rodo 159 piešinys. Sutikę, kad ant magneto galų randasi polio vienetai, mes tada turėsime: $F = H \sin \varphi$, arba kadangi $F = \frac{2\pi ni}{R}$, tai $\frac{2\pi ni}{R} = H \sin \varphi$ arba $i = \frac{RH}{2\pi n} \sin \varphi$. Todel vartojamas tokiu būdu galvanometras ir vadinasi sinus - busolė. Aišku, kad vartodami galvanometrą, sinus - busolę, mes turėsime didesnio jautrumo instrumentą, nes sinus kampo nuo 0 ligi 90° kinta ribose nuo 0 ligi 1, o tangens kinta ribose nuo 0 ligi ∞. Bet užtat tangens galvanometru galėsime matuoti didesnes sroves kaip sinus - galvanometru.

Kad galima būtų tuo pačiu instrumentu matuoti itin dideles sroves, labai dažnai jam priduodama tokia konstrukcija, kad galima būtų sukti žiedas R ne tik apie vertikalį jo diametrą, bet ir apie gulsčią jo diametrą. Keisdami kampą tarp vertikalės ir žiedo R mes silpninsime veikimą matuojamos srovės magnetui. Tegu žiedas R sudaro su vertikale kampą β, o magnetas einant srovei bus atlenktas iš magnetinio meridiano plokštumos kampu φ. Tuo atveju elektromagnetinė jėga bus proporcinga cosinusui kampo β ir mes turėsime santykius: $\frac{2\pi ni}{R} \cos\varphi \cos\beta = H \sin\varphi$, iš kur išeina $i = \frac{HR}{2\pi n} \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\cos\beta}$.

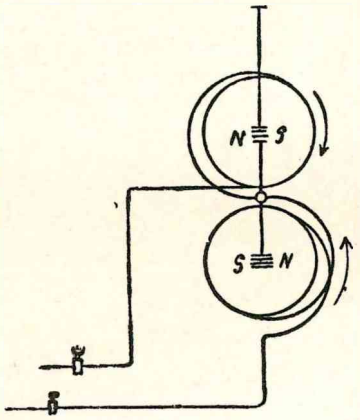
Čia mes atmetėme magneto magnetinį momentą M, nes šitas dydis įeina į abidvi lygties puses. Vartojamas taip galvanometras, vadinamas dažnai cosinus-galvanometru, nes šituo atveju tangentė magneto atsilenkimo kampo yra proporcinga cosinui kampo, kurį sudaro žiedas R su vertikale. Tokio galvanometro jautrumas yra žymiai mažesnis, kaip sinus ir tangens - galvanometro, bet užtat paėmus vieną ar keletą storos vielos vingių, galima tokiu galvanometru matuoti srovės ligi 100 amperų.



159 pieš.

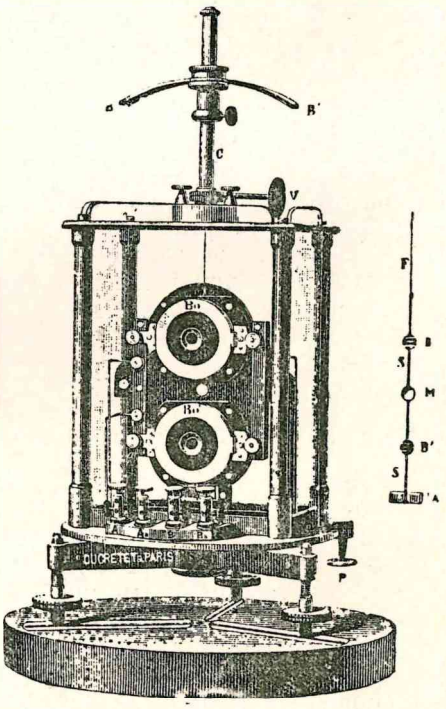
Tangens - galvanometras yra pagrindinis instrumentas elektriškiems matavimams, bet jautrumas to instrumento, sulyginti, nedidelis, nes, kad galima būtų pritaikyti srovės elektromagnetinės jėgos formula $F = \frac{2\pi ni}{R}$, reikia, kad magneto ilgis būtų nedidelis sulyginti su žiedo diametru. Bet juo didesnis bus žiedo diametras, juo silpnesnis bus srovės veikimas magnetui. Be to, čia žemės magnetizmo gulsčia komponenta veikia priešingai, kaip srovės elektromagnetinė jėga. Tuo tarpu dažnai tenka matuoti labai silpnos srovės, ir todel reikalinga turėti galvanometras žymiai jautresnis, kaip tangens - busolė. Galvanometro jautrumas galima padidinti iš vienos pusės sustiprinus srovės veikimą, vadinasi, sumažinus žiedo arba rato diametrą, kiek tik galima labiau, ir padidinus vingių skaičių, kiek tik galima daugiau, o iš antros pusės sumažinus kiek tik galint žemės magnetinio lauko veikimą (aplamai, išorinio magnetinio lauko veikimą). Tokį galvanometrą pirmutinis padirbo Williamas Thomsonas, kada jam teko matuoti ir, aplamai, konstatuoti labai silpnos srovės povandeniniuose kabeliuose. 160 piešinys atvaizduoja vadinamo Thomsono astatiško galvanometro schemą, 161 piešinys atvaizduoja patį galvanometrą. Kaip rodo 160 piešinys, čia prie tos pačios vielos prijungtos dvi magnetinės adatos iš tos pačios medžiagos to paties didumo lygiagrečiai viena antrai,

bet priešingai atkreiptais poliais. Iš tikrųjų viena ir antra vadinamoji adata susideda iš eilės atatinkamai sudėtų adatų, kaip rodo 161 piešinys. Mes čia turime ir dvi špules arba, tikriau kalbant, dvi dvigubas špules, taip kad viršutinis ir apatinis magnetas padėti kiekvienas vidury dvigubos špulės. Jeigu magnetiniai momentai M_1 ir M_2 abiejų adatų yra lygūs, tai tada žemės magnetizmo kreipiamoji jėga yra lygi 0. Kitaip žemės magnetinio lauko veikimas yra proporcingas skirtumui adatų magnetinių momentų. Be to, išorinį magnetinį lauką galime dar čia kontroliuoti magnetu, padėtu viršuj galvanometro, priduodant tam magnetui atatinkamą padėtį. Toksai galvanometras turi didelę varžą del plonos vielos ir del didelio skaičiaus vingių tos vielos ir todel jis tinka tik silpnoms srovėms konstatuoti ir matuoti. Tokio galvanometro jautrumas svyruoja ribose 10^{-9} — 10^{-12} amperų. Tai reiškia, kad nurodyto čia didumo srovė duoda ant škalos atsilenkimą 1 m/m. prie atokumo škalos nuo veidrodžio 1 mtr. Kada kalbama apie galvanometro jautrumą, tai visuomet tas jautrumas išreiškiamas nurodytu čia būdu. Plokščias veidrodis čia prijungtas tarp magnetų prie tos pačios vielos, prie kurios prijungti magnetai. Vadinasi, čionai visuomet magnetų atsilenkimai sekami su pagalba žiūrono ir škalos. Kad atlenktų magnetų švytavimai neužsitęstų per ilgai, reikalingas tam tikras slopinimas, kuris čia atsiekiama, tuo, kad galas vielos, prie kurios prijungti magnetais aprūpinamas sparnu iš žėručio. Švytuojant magnetams, sparno judėjimus slopina oras. Viela, ant kurios kaba magnetai, turi būti labai plona ir su labai mažu sukamuoju elastingumo momentu. Kada atsilenkimai nedideli, tai matuojamos srovės yra proporcingos tiems atsilenkimams. Aprašytos čia konstrukcijos galvanometrą Williamas Thomsonas pavartojo tam, kad priiminėtų silpnus signalus pavidalu silpnų srovių transatlantiniam kabely.



160 pieš.

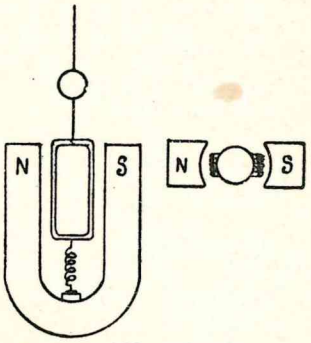
Jeigu arti nuo laboratorijos, kur vartojami tokie galvanometrai, eina elektros tramvajaus kabeliai arba elektros apšvietimo tinklas, tai srovės tokių tinklų smarkiau trukdo aprašyto čia galvanometro vartojimą. Bet rutuliais ir minkštos geležies cilinderiais, padėjus juos tam tikru būdu, galima apginti magnetai nuo elektromagnetinio lauko tramvajaus kabelių arba šviesos tinklo veikimo.



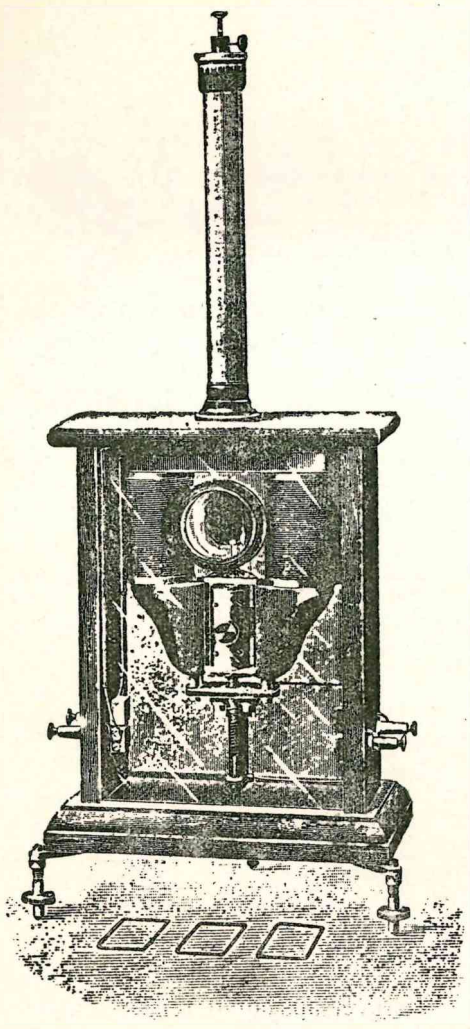
161 pieš.

Aprašyti čia galvanometrai šiandien vartojami, sulyginti, retai. Dažniausiai elektriniams matavimams šiandien vartojami Deprez-d'Arsonvalio galvanometrai. Jie yra tokie galvanometrai, kurie turi nejudomą stiprų magnetinį lauką ir judomą solenoidą, arba špulę, per kurią eina matuojamoji srovė. 162 piešinys duoda schemą tokio galvanometro, o 163 piešinys duoda jo pilną vaizdą. Tarp stipraus permanentinio magneto polių (162 piešinys) arba tarp stipraus elektromagneto polių (163 piešinys) kaba ant plonos fosforo bronzos vielos špulė iš didelio skaičiaus plonos izoliuotos vielos vingių keturkampių rėmelių pavidalo.

Vienas galas špulės arba solenoido vielos sujungtas su viela, ant kurios solenoidas kaba, o antrasis su lengvu ir minkštu spyruokliu iš plonos vielos, kaip rodo 162 ir 163 piešiniai. Srovė patenka į solenoido vingius per pakabinimo vielą ir išeina per šitą minkštą spyruoklį arba priešingai. Prie pakabinimo vielos prijungtas dar plokščias veidrodis, kad galima būtų sekti solenoido judėjimai su pagalba žiūrono ir škalos (žiūr." Šviesa" 2 §, 21, 22 puslapiai). Dažniausiai vidury solenoido rėmelių randasi minkštos geležies cilinderis. Tasai cilinderis, jeigu suteikiama tam tikro kreivumo magneto polių galams, sudaro radialį magnetinį lauką (tokį lauką, kur magnetinės jėgų linijos eina radiais). Rečiau vartojamas solenoidas be tokio vidurinio cilinderio iš minkštos geležies, ir tada magnetinės jėgų linijos eina lygiagrečiai ir normaliai magneto polių galams. Kadangi mes čia turime gan stiprų magnetinį lauką, tai žemės magnetinis laukas neturi čia jokios įtakos solenoido judėjimams. Taip pat ir įtaka bet kurio kito išorinio magnetinio lauko tokiems galvanometrams yra minimalė ir praktiškai neturi jokios reikšmės. Tas sudaro labai didelį tokių galvanometrų patogumą, ir todel suprantama, kad jie šiandien, galima sakyti, išimtinai vartojami. Kitas didelis tų galvanometrų patogumas yra dar tas, kad čia veikia gan smarkios slopinamosios jėgos, taip kad galvanometras greitai nusistato (pasiekia pusiausvyros būklę). Dalykas tas, kad švytuojant solenoidui magnetiniame lauke, solenoide ir minkštos geležies cilinderyje susidaro indukcijos srovės, kurios stengiasi sustabdyti solenoido judėjimą. Apie šitas indukcijos sroves mums teks kalbėti smulkiau kituose paragrafuose. Čia tik pridursime, kad didinant arba mažinant išorinę varžą galima silpninti arba stiprinti šitos indukcijos srovės, ir tokiu būdu silpninti arba didinti slopinimas, žiūrint reikalo.



162 pieš.


163 pieš.

Kreipiamoji jėga arba ta jėga, kuri priešinasi solenoido atsilenkimui — čia yra fosforo bronzos siūlo užsukimas. Jautrumas d'Arsonvalio galvanometrų svyruoja ribose 10^{-8} — 10^{-10} amperų. Tai reiškia, kad srovės nurodyto didumo duoda ant škalos atsilenkimą 1 m/m. atokume škalos nuo veidrodžio 1 mtr. Taigi jautrumas d'Arsonvalio galvanometrų yra didelis, nors ir mažesnis kaip jautrumas astatiško Thomsono galvanometro.

Duosime čia trumpą teoriją d'Arsonvalio galvanometro, kada solenoido vidury randasi minkštos geležies cilinderis, vadinasi, kada galvanometro magnetinis laukas yra radialis. Tegu magnetinio lauko stiprumas bus H, tegu solenoido augštis bus h ir jo plotis l. Tad einant srovei i per solenoidą, veikianti jo elementą dh išilgai h elektromagnetinė jėga, einant Laplace'o elementariniu dėsniu, bus: df=H. i. dh sin(H, dh),

arbá integruojant $f = \int_0^h H.\,i.\,dh.\sin(H, dh)$. Cia (H,dh) reiškia kampą, kurį sudaro magnetinė jėga su laidininko ilgio elementu dh. Solenoidas susideda iš n vingių. Kiekvienas vingis turi dvi vertikales ir dvi gulsčias dalis. Integralas duoda jėgą, veikiančią vertikalę vieno vingio dalį iš vienos ir iš antros pusės. Kadangi mes čia turime radialį magnetinį lauką, tai, sukantis solenoidui, magnetinės jėgų linijos visą laiką sudaro kampą 90^0 su vertikalėmis solenoido vingių dalimis. Tokiomis sąlygomis $f = \int_0^h Hidh = Hih$ vienam vingiui, o turint n vingių jėga bus Hi. n. h. Tokio pat didumo jėga veikia ir antrą vertikalę solenoido dalį, tik priešingai atkreiptą. Einant Laplace'o dėsniu šita jėga yra statmena plokštumai, ištiestai per solenoido ilgį arba augšti ir per magnetinę liniją, kitaip sakant, šita jėga yra statmena solenoido plokštumai. Todel mes čia turime sukamąjį porį statmenai solenoido plokštumai ir to porio sukamasai momentas yra lygus Hi. n. h. l = Hins, nes l reiškia solenoido plotį, tai yra statmenišką atokumą tarp abiejų jėgų, veikiančių vertikales solenoido dalis, o hl reiškia solenoido kontūrų plotą, kurį mes galime pažymėti raide s.

Tokiu pat būdu mes galime apskaityti elektromagnetines jėgas, veikiančias gulsčias solenoido dalis. Nesunku suvokti, kad šitos dvi jėgos irgi bus lygios, atkreiptos viena prieš antrą ir veiks išilgai solenoido ašies (einant Laplace'o dėsniu veiks statmenai gulsčiai plokštumai, kurią sudaro gulsčia dalis solenoido vingio su magnetine linija). Vadinasi, šitos dvi jėgos temps arba spaus solenoidą, bet sukamojo momento nesudarys. Todel sekant solenoido sukimąsi reiškia tik jėgų poris, kuris veikia vertikales solenoido dalis.

Neinant srovei per solenoidą, solenoidas paprastai užima būklę lygiagrečiai magneto polių linijai (linijai, jungiančiai abudu magneto polius). Einant srovei, kaip jau mes žinome, solenoidas tampa magnetu, kurio magnetinis laukas sudaro tiesų kampą su permanentiniu magnetiniu lauku (solenoido magnetinės linijos sudaro kampą 90^0 su permanentinio magneto magnetinėmis linijomis). Taigi solenoidas sukasi ta prasme, kad jo magnetinės linijos nusistatytų lygiagrečiai permanentinio lauko magnetinėms linijoms, t. y. solenoidas stengiasi užimti būklę statmenai polių linijai. Aplamai, einant srovei per solenoidą, jis stengiasi nusistatyti taip, kad per jo kontūrų plotą eitu maximum jėgų linijų. Tai ir bus tada, kada solenoido šiaurės pusė nusistatys prieš magneto pietų polį, o solenoido pietų pusė prieš magneto šiaurės polį. Šitai solenoido pastangai pasisukti į tokią būklę priešinasi pakabinimo vielos užsukimo elastingumas. Sukantis solenoidui viela užsukama ir stengiasi atsisukti, todel susidaro vielos užsukimo sukamasai poris, kuris stengiasi atstatyti pirmykštę solenoido būklę. Taigi einant srovei per solenoido vingius jis suksis tol, kol elektromagnetinis sukamasai poris bus kompensuotas vielos elastingumo arba kietumo sukamuoju poriu. Tegu atsilenkus solenoidui kampu α mes turėsime pusiausvyrą tarp abiejų sukamųjų porių. Kol kampas α nedidelis, mes galime laikyti vielos sukamąji porį proporcingu atsilenkimo kampui α, t. y. išreikšti tą sukamąjį porį kaipo $c\alpha$. Taigi pusiausvyrai veikia santykis: $Hins = c\alpha$, iš to: $i = \frac{c\alpha}{Hns} = C\alpha$, priėmus $\frac{c}{Hns} = C$.

Radialį lauką, kaip jau pasakyta, mes turėsime tik tada, kada vidury solenoido rėmų bus minkštos geležies cilinderis. Tada sukantis solenoidui visą laiką magnetinė jėga bus statmena solenoido vertikalei linijai. Tiesa, retai, bet visgi vartojami ir tokie d'Arsonvalio galvanometrai, kurie aprūpinti solenoidu be minkštos geležies cilinderio vidury. Tokiu atveju mes turime vadinamą homogeninį magnetinį lauką, kurio linijos eina lygiagrečiai polių linijai. Pasisukus solenoido rėmams tokiam lauke kampu α sukamasai elektromagnetinis poris bus jau nebe Hnis, bet Hnis cos α, ir tada mes turėsime pusiausvyrai tokią lygtį: Hnis cos $\alpha = c.\ \alpha$ arba $i = \frac{c}{Hns} \cdot \frac{\alpha}{\cos\alpha}$, ir paėmę kaip anksčiau $C = \frac{c}{Hns}$ turėsime: $i = \frac{C\alpha}{\cos\alpha}$. Vadinasi, tokiu atveju srovei apskaityti reikės atsiminti ne tik kampas α, bet ir to kampo cosinusas.

Iš $i = C\alpha$ išeina $C = \frac{i}{\alpha}$. Sitas dydis vadinasi galvanometro dinamine konstanta. Aišku, kad C yra srovė, kuri duoda atsilenkimą vieneto kampu (atsilenkimą vienu radianu). Dirbant su žiūronu ir škala, galvanometro konstanta vadina tokį škalos padalijimų skaičių, kuris atatinka 1 mikroamperą, t. y. 10^{-6} amperų. Reikia tik neužmiršti, kad tai pačiai srovei atsilenkimas ant škalos pareina nuo atokumo tarp škalos ir galvanometro veidrodžio. Taigi nustačius šitą atsilenkimą, sakysime, atokumui 1 metro škalos nuo veidrodžio, keičiant šitą atokumą reikia padaryti atatinkama pataisa konstantai C. Konstanta C dažnai vadinama galvanometro jautrumu, Galima galvanometro konstanta arba jautrumas išreikšti ir kitaip, būtent, tokia srove amperais arba mikroamperais, kuri duoda atsilenkimą ant škalos vieno padalijimo, sakysime, 1 m/m. prie atokumo škalos nuo veidrodžio 1 mtr. Nereikia painioti galvanometro jautrumo ir galvanometro tikrumo (precizijos). Galvanometro tikrumas išreiškiamas santykiu minimum atsilenkimo, kurį duoda galvanometras ir kuris dar galima atskaityti ant škalos, ir matuojamo atsilenkimo.

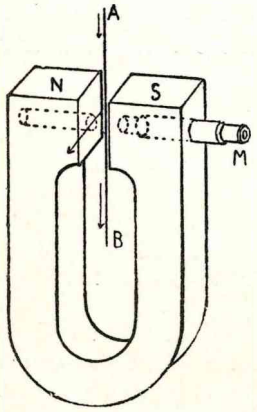
Surasti galvanometro konstantai C reikia sujungti galvanometras su batareja, reostatu ir ampermetru iš 156 piešinio schemos, ir surasti atsilenkimas α tam tikrai srovei i. Tada konstanta C bus lygi $\frac{i}{\alpha}$.

Vartojant žiūroną ir škalą reikia daboti, kad škala būtų simetriškai padėta atžvilgiu galvanometro veidrodžio. Norint įsitikinti, ar škala simetriškai padėta ar ne, naudojantis 156 piešinio schema su pagalba komutatoriaus reikia paleisti srovė i per galvanometrą, iš pradžios viena kryptimi, o paskui antra kryptimi, ir atskaityti atsilenkimai ant škalos α_1 ir α_2. Kada tie atsilenkimai lygūs, tai reiškia, kad škala padėta simetriškai. Kada jie nelygūs, bet mažai tesiskiria, tai galima galvanometro atsilenkimui paimti aritmetinis vidurys. Be to, prieš vartojant galvanometrą reikia patikrinti, ar jo atsilenkimai proporcingi srovėms. Per galvanometrą leidžiama srovės, kurios didinamos tam tikra proporcija ir registruojami atatinkamieji atsilenkimai. Ištiesus koordinatų sistemą ant abscisos tam tikromis atkarpomis atidedama srovės, o ordinatomis atidedama atsilenkimai. Jungdami ordinatų galus gausime tiesią liniją tik tuo atveju, kada tarp srovių ir atsilenkimų veikia proporcingumas. Kitaip, gausime tą ar kitą kreivą liniją, kuri vienok padės atlikti reikalingas pataisas kiekvienam stebėjimui (vadinasi, padės naudotis galvanometro atsilenkimais srovių apskaitymams ir tada, kada proporcingumo tarp srovių ir atsilenkimų nėra).

Pridursime čia dar, kad galvanometras turi maximum jautrumo tada, kada jo varža yra lygi varžai visos kitos srovės tinklo dalies.

Aprašytu čia galvanometru ir metodu galima išmatuoti elektros kiekis, kuris eina pavidalu tolydinės nuolatinės srovės, bet tasai metodas netinka tada, kada per galvanometrą eina mirksnio srovė, kaip tai, sakysim, būna, kada per galvanometrą išlydinama kondensatorius arba kada per galvanometrą eina indukcijos srovė, su kuria mes pasipažinsime vėliau. Galvanometro solenoidas atsilenkia ir nuo tokios srovės, veikiant tos srovės impulsui, bet solenoido judėjimas prasideda jau tada, kada mirksnio srovė pasibaigia. Ir čia galima iš pirmo atsilenkimo apskaityti perėjęs per galvanometrą elektros kiekis. Bet tokiais atvejais reikia turėti galvanometras pakankamai ilgo švytavimo periodo nuo 6 ligi 10 sek. vienam švytavimui ir nedidelio slopinimo. Toksai galvanometras vadinasi balistinis galvanometras. Abiejų tipų galvanometrai (ir astatinis Thomsono galvanometras ir d'Arsonvalio galvanometras) galima vartoti balistiniams tikslams atatinkamai pakeitus jų konstrukciją, pavyzdžiui, pailginus švytavimo periodą, apsunkinant astatinę adatą arba solenoidą priedine mase. Tai padidins judomosios sistemos inercijos momentą ir tokiu būdu duos ilgesnį perijodą. Vartojimas balistinio galvanometro remiasi tuo, kad mirksnio srovė suteikia jam impulsą, kuris yra proporcingas perėjusiam per jį elektros kiekiui Q ir kad tasai impulsas tuo pačiu laiku yra proporcingas pirmajam galvanometro atsilenkimui α, skaitant, kad solenoidas arba astatinė adata nepradeda judėti, kol pasibaigs mirksnio išlydis. Taigi, balistiniam galvanometrui veikia

santykis: $Q = K. \alpha$. Cia Q reiškia elektros kiekį, α galvanometro atsilenkimą, o K vadinamą balistinę galvanometro konstantą. Taigi, žinant šitą balistinę konstantą, iš pirmo atsilenkimo α galima apskaityti elektros kiekis, kuris perėjo per galvanometrą. Balistinė galvanometro konstanta $K = \frac{Q}{\alpha}$, tai yra elektros kiekis, kuris duoda ant škalos atsilenkimą vieneto kampu (1 radianu), galima nustatyti eksperimentu, užtaisius kondensatorių žinomo talpumo C su pagalba galvaninės batarejos žinomo potencialų skirtumo V ir išlydant šitą kondensatorių per balistinį galvanometrą. Tegu pirmasai galvanometro atsilenkimas bus α. Tad $CV = K\alpha$ ir $K = \frac{CV}{\alpha}$. Bet reikia pasakyti, kad šita balistinė konstanta pareina nuo varžos ir todel reikia kiekvienam balistiniam galvanometrui bandymo keliu surasti diagrama, kuri kiekvienai varžai duoda atatinkamą konstantą, turint galvoj, kad $K = \frac{CV}{\alpha}$ yra konstanta atdaram galvanometrui arba be galo didelei varžai. Antra vertus, einant slopinamų švytavimų teorija, išdėstyta „Fizikos paskaitų" IV skyriaus 19 — 29 pusl., galima nustatyti santykis tarp balistinės konstantos ir dinaminės konstantos, o žinant šitą santykį ir suradus augščiau nurodytu būdu dinaminę konstantą, apskaityti balistinė konstanta. Balistinio galvanometro teorija sako, kad $\frac{K}{C} = \frac{\pi}{T_0} = \frac{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}}{T}$. Čia K reiškia balistinę konstantą, C dinaminę konstantą, T_0 reiškia periodą laisvų švytavimų ir T periodą slopinamų švytavimų, λ reiškia logaritminį švytavimo dekrementą. Taigi, norint surasti galvanometro balistinę konstantą, reikia nustatyti jo dinaminė konstanta, surasti jo švytavimų periodą T ir tų švytavimų logaritminį dekrementą λ (žiūr. IV skyrius, 19 — 29 puslap.). Tik reikia atsiminti, kad surasta tokiu būdu konstanta K veikia tik tam tikromis slopinimo sąlygomis, kurios tarp ko kita pareina, vartojant d'Arsonvalio galvanometrą, nuo varžos ir nuo oro pasipriešinimo.

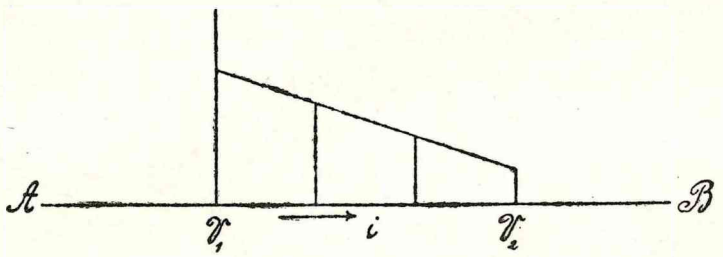


164 pieš.

Remdamasis tuo, kad kiekvienas laidininkas judomai įtaisytas magnetiniam lauke, jeigu per jį eina srovė, stengiasi nusistatyti statmenai plokštumai, sudarytai magneto polių linija ir laidininko linija (einant augsčiau minėta trijų pirštų taisykle), Einthovenas padirbo labai jautrų „stygos" galvanometrą, kurio schemą atvaizduoja 164 piešinys. Stiprus magnetinis laukas sudaromas arba permanentiniu magnetu arba elektromagnetu. Tarp polių magneto arba elektromagneto NS ištemptas ploniausis siūlas iš platinos arba dar geriau iš kvarco. Pastarasis pasidabrinamas. Per siūlą leidžiama matuojamoji srovė, kuri įeina į siūlą, sakysim, iš viršaus ir išeina iš apačios arba atbulai. Siūlas atsilenkia tai į vieną, tai į antrą pusę, ir jo atsilenkimai sekami mikroskopu M su škala, kuris parodytas 164 piešinio dešinėje pusėje. Magneto šaka turi išgręžtą apskritą skylę, ties kuria ir padedamas mikroskopas M arba į kurią įdedamas tas mikroskopas. Kita magneto šaka iš priešingos pusės irgi turi išgręžtą apskritą skylę, pro kurią siūlas nušviečiamas arba dirbtine šviesa arba dienos šviesa. Šito galvanometro jautrumas siekia 10^{-12} amperų. Vadinasi, šita silpniausia srovė duoda dar aiškiai matomą atsilenkimą ant mikroskopo škalos. Del didelės varžos ploniausio platinos arba kvarco siūlo Einthoveno galvanometras tinka tik silpnoms srovėms matuoti.

13 §. Ohmo dėsnis. Elektros varžos vienetas. Lyginamoji varža. Kirchhoffo dėsniai. Wheatstone'o tiltas. Elektros varžos matavimas. Varžos standartai ir varžos magazinai. Reostatai. Elektriškas varžos termometras ir bolometras. Galvanometro šuntavimas. Elektrovaromųjų jėgų sulyginimas. Kompensacijos metodas elektrovaromajai jėgai matuoti. Įvairūs būdai jungti galvaniniams elementams, sudarant batarejas.

Atsiradus galvaniniams elementams, elektrometrais ir galvanometrais pradėta matuoti elektros srovė ir potencialų skirtumas, kuris sudaro šitą srovę. Šitas potencialų skirtumas buvo pavadintas elektrovaromąja jėga. Pavadinimas netikslus, nes jėga, kaip jau mes žinome, yra lygi $\frac{dV}{dl} = \frac{V_1 - V_2}{l}$, t. y. lygi potencialo kritimui, skaitant ant vieneto ilgio. Bet šitas netikslus pavadinimas įsivyravo, ir šiandien visų vartojamas. Ypač daug panašių matavimų atliko 1826 — 1828 metais Berlyno universiteto fizikos profesorius Georgas Simanas Ohmas. Savo gausiais matavimais jis nustatė tą faktą, kad srovė visuomet yra proporcinga elektrovaromajai jėgai, kitaip sakant, santykis tarp srovės ir elektrovaromosios jėgos visais atvejais yra pastovus dydis. Tai reiškia, kad $i = c \cdot E$, arba $\frac{i}{E} = c$. Ohmas konstatavo, kad šitas santykis c pareina nuo laidininko medžiagos, ir pavadino šitą konstantą medžiagos laidumu elektrai. Galvodamas apie šituos santykius jis pastebėjo analogiją tarp elektros srovės iš vienos pusės, ir skysčių srovės vamzdžiuose ir kanaluose ir šilimos srovės, nusistačius statiškai būklei, iš antros pusės. Tegu linija AB reiškia laidininką, per kurį eina elektros srovė i (žiūr. 165 pieš.). Jeigu laidininkas AB visur turėtų tą patį elektros potencialą, tai jokios elektros srovės nebūtų. Jeigu mes turime srovę, tai reiškia, kad potencialas laidininko kinta iš vietos į vietą. Esant nuolatinei srovei i, išmatuosime laidininko potencialus įvairiose vietose, sakysime, nuo V_1 ligi V_2 ir atidėsime tuos potencialus ordinatomis statmenai laidininko linijai. Sujungę ordinatų galus, mes gausime tiesią liniją, sudarančią tam tikrą kampą su abscisa. Tai rodo, kad santykis tarp srovės ir tarp potencialų skirtumo bet kurioje laidininko dalyje yra pastovus dydis, kitaip sakant, nuolatinė srovė bet kurioje laidininko vietoje yra tiesiog proporcinga potencialų skirtumui. Tai visiškai primena skysčio tekėjimą per kanalą, nusistačius statiškai būklei, kitaip sakant, turint tam tikrą skysčių hidrostatinių spaudimų skirtumą vienoje kanalo vietoje ir kitoje (žiūr. 30 pieš., puslap. 32, „Skysčiai ir Dujos"). Elektros srovės vaizdas, kurį duoda 165 piešinys, yra visiškai panašus į šitą hidrodinaminį vaizdą. Tokį pat vaizdą mes gausime sekdami šilimos srovę per laidininką, kada nusistato vadinama statiška temperatūros būklė, kitaip sakant, kada nusistato tam tikras temperatūros skirtumas einant nuo vieno laidininko galo į antrą. Tekant skysčiui per kanalą tam tikro skerspjūvio, mes vadiname skysčio greitumu tokį skysčio kiekį (išreikštą cm.^{3} arba gramais), kuris per 1 sekundą pereina per kanalo arba vamzdžio skerspjūvį, ir išreiškiame šitą kiekį formula: $V = \frac{k\,(h_1 - h_0)\,q}{L}$. Čia q reiškia kanalo arba vamzdžio skerspjūvio plotą, L reiškia kanalo ilgį ir $h_1 - h_0$ reiškia hidrostatinių spaudimų skirtumą,

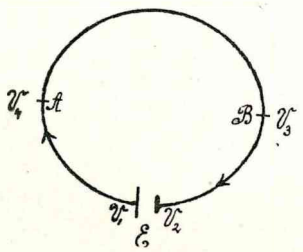


165 pieš.

skaitant ant kanalo ilgio L. Pagaliau k reiškia tam tikrą konstantą, kuri pareina nuo kanalo medžiagos ir jo paviršiaus kokybės. Galime šitą konstantą pavadinti kanalo laidumu (žiūr. „Skysčiai ir Dujos" 33 — 38 puslap.). Taip pat kalbėdami apie šilimos judėjimą fiziniuose kūnuose šilimos greitumu mes vadiname tą kiekį šilimos, kuris nusistačius statiškai temperatūros būklei per 1 sekundą pereina per laidininko skerspjūvį, ir išreiškiame šitą šilimos greitumą formula $Q = \frac{k\,(t_1 - t_2)\,s}{d}$ (žiūr. „Šilima", 56 puslap.). Čia s reiškia šilimos laidininko skerspjūvio plotą, d reiškia šilimos laidininko ilgį ir $\frac{t_1 - t_2}{d}$ reiškia temperatūros kritimą skaitant 1-am cm., k reiškia konstantą, charakteringą laidininko medžiagai, kuri vadinasi medžiagos šilimos laidumas.

Akivaizdoje analogijos tarp nuolatinės elektros srovės laidininke ir skysčio srovės arba šilimos srovės, Ohmas pritaikino hidrodinaminę lygtį elektros srovei, laikydamas srovės stiprumu tą elektros kiekį, kuris per vieną sekundą pereina per laidininko skerspjūvį bet kurioje laidininko vietoje, nusistačius statiškai potencialo būklei, t. y. nusistačius tam tikram potencialo kritimui, skaitant 1-am cm. laidininko ilgio. Pažymėsime laidininko dalies ilgį tarp taškų V_1 ir V_2 raide l, potencialus tuose taškuose tomis pačiomis raidėmis V_1 ir V_2 ir laidininko skerspjūvio plotą raide q. Tad taikydami hidrodinaminę lygtį mes turėsime tokią formulą elektros srovei: $i = \frac{k\,(V_1 - V_2).\,q}{l}$. Koeficientas k čia pareina nuo laidininko medžiagos ir vadinasi laidininko elektros laidumas. Tai yra elektros kiekis, kuris per 1 sekundą pereina per 1 cm². laidininko skerspjūvio, kada potencialo kritimas yra lygus vienetui, skaitant 1-am cm. laidininko ilgio. Tad laidumas tokio laidininko, kurio ilgis yra lygus 1 ir skerspjūvio plotas q, bus $k\,\frac{q}{l}$. Paėmę šitą dydį atvirkščiai mes gausime: $\frac{1}{k}.\frac{l}{q} = r.\frac{l}{q}$, = jeigu mes paimsime $r = \frac{1}{k}$. Dydį $r.\frac{l}{q}$ Ohmas pavadino laidininko elektros varža. Vadinasi, laidininko elektros varža yra tiesiog proporcinga laidininko ilgiui l ir atvirkščiai proporcinga laidininko skerspjūvio plotui q. Konstanta r vadinasi lyginamoji elektros varža. Tai yra atvirkščias dydis lyginamojo elektros laidumo k. Taigi, žinant lyginamąją laidininko varžą ir išmatavus jo ilgį ir skerspiūvio plotą, galima apskaityti laidininko elektros varža $R = r.\frac{l}{q}$. Dabar mes galime parašyti augščiau privestą elektros srovės lygtį šia forma: $i = \frac{V_1 - V_2}{\frac{1}{k}\quad\frac{l}{q}} = \frac{V_1 - V_2}{r.\frac{l}{q}} = \frac{V_1 - V_2}{R}$.

Tai yra garsus Ohmo dėsnis, paskelbtas 1828 metais, kuris nustato santykius tarp elektros srovės, potencialų skirtumo, arba elektrovaromosios jėgos, ir laidininko elektros varžos. Tasai dėsnis sako, kad elektros srovė tam tikroje tinklo dalyje yra proporcinga potencialų skirtumui toje dalyje ir atvirkščiai proporcinga laidininko elektros varžai.



166 pieš.

Ohmo dėsnio išvadą mes padarėme, paėmę tokią laidininko dalį, kurioje nėra elektros srovės šaltinio. Taigi pasinaudosime 166 piešiniu, kad įrodytume Ohmo dėsnio veikimą ir tais atvejais, kada į laidininką įterptas (arba, aplamai, į elektros tinklą) srovės šaltinis, sakysime, pavidalu galvaninio elemento arba galvaninės batarejos, arba dinamo mašinos. E reiškia galvaninį elementą, kuris yra nuolatinis elektros srovės šaltinis ir kurio elektrovaromoji jėga yra lygi E voltų. Sujungsime polius šito elemento viela arba visa eile vielų iš įvairios medžiagos. Tada per sudarytą tinklą eis srovė i, kaip rodo iešmutės. Pažymėsime šito tinklo potencialus tose vietose, kur tinklas prijungtas prie

galvaninio elemento polių, raidėmis V_1 ir V_2 ir, be to, dar taškuose A ir B raidėmis V_4 ir V_3. Pritaikysime Ohmo dėsnį atskiroms šito tinklo dalims. Daliai nuo V_1 ligi V_4 mes turėsime $i = \frac{V_1 - V_4}{r_1}$, jeigu mes šitos dalies varžą pažymėsime raide r_1. Iš šito santykio išeina $V_1 - V_4 = ir_1$. Samprotaudami taip pat, mes kitai daliai nuo V_4 ligi V_3 turėsime $V_4 - V_3 = ir_2$, pažymėję tos dalies varžą raide r_2. Ir vėl kitai daliai turėsime $V_3 - V_2 = ir_3$ ir pagaliau pačiam galvaniniam elementui turėsime $E + V_2 - V_1 = ir$, pažymėję galvaninio elemento varžą raide r. Sudėdami visas tas lygtis mes gausime: $E = i(r_1 + r_2 + r_3 + r)$. Pažymėsime varžą visų vielų raide R ir pavadinsime šitą varžą $R = r_1 + r_2 + r_3$ išorine tinklo varža, o varžą r — išvidine elemento varža. Tad mes turėsime: $E = i(R + r)$, arba $i = \frac{E}{(R + r)}$. Vadinasi, turint tinklą su galvaniniu elementu, srovei apskaityti reikia paimti galvaninio elemento elektrovaromoji jėga, o varžai paimti sumą jungiančių vielų varžos ir galvaninio elemento varžos.

Iš viso to, kas čia pasakyta, matyti, kad elektros varža yra santykis tarp elektrovaromosios jėgos ir srovės $\left(\frac{E}{i}\right)$. Varžos vienetu įprasta laikyti vienas ohmas (taip varžos vienetas pavadintas, kad būtų pagerbtas Ohmas), kuris yra lygus santykiui elektrovaromosios jėgos 1 volto ir srovės 1 ampero. Paėmę tokį laidininką, ant kurio galų veikia potencialų skirtumas, lygus 1 voltui, ir per kurį tokiomis sąlygomis eina srovė 1 ampero, mes turėsime varžos vienetą, t.y. 1 ohmą. Gyvojo sidabro siūlas ilgio 106,3 cm. ir skerspjūvio ploto 1 mm.^{2} prie temperatūros 0^0C ir yra toks laidininkas, kurio varža yra lygi 1 ohmui. Tai reiškia, kad veikiant ant galų tokio gyvojo sidabro siūlo potencialų skirtumui 1 voltas, per jį eina srovė 1 ampero. Šitas varžos vienetas ir buvo galutinai pripažintas 1893 metais Tarptautiniame elektrikų kongrese Čikagoje.

Kadangi 1 voltas yra lygus 10^8 elektromagnetinių vienetų, o 1 amperas yra lygus 10^{-1} elektromagnetinių absoliutinių vienetų, tai 1 ohmas, išreikštas elektromagnetiniais absoliutiniais vienetais, bus $\frac{10^8}{10^{-1}} = 10^9$ elektromagnetinių absoliutinių vienetų.

Varža apskaitoma formula: $R = r.\frac{1}{q}$. Čia r reiškia vadinamąją lyginamąją varžą. Tai yra varža 1 cm.^{3} medžiagos. Taip pat lyginamasai elektros laidumas bus laidumas 1 cm.^{3} medžiagos.

Si lentelė duoda keletą pavyzdžių metalų lyginamosios elektros varžos r (1 cm.^{3} varža ohmais) ir lyginamojo laidumo λ:

	r	λ
Sidabras	$0{,}016.10^{-4}$	625.10^3
Varis	$0{,}017.10^{-4}$	588.10^3
Cinkas	$0{,}061.10^{-4}$	164.10^3
Misingis	$0{,}07.10^{-4}$ — $0{,}09.10^{-4}$	143.10^3 — 111.10^3
Geležis	$0{,}09.10^{-4}$ — $0{,}15.10^{-4}$	111.10^3 — 66.10^3
Platina	$0{,}11.10^{-4}$	91.10^3
Neisilberis	$0{,}16.10^{-4}$ — $0{,}40.10^{-4}$	
Konstantanas	$0{,}49.10^{-4}$	
Manganinas	$0{,}42.10^{-4}$	

Apskaitysime, pavyzdžiui, geležies vielos elektros varžą diametro 0,5 mm. ir ilgio 200 klm. einant formula $R = r.\frac{1}{q}$:

$$\frac{0{,}12.10^{-4}.2.10^7.100}{0{,}2} = 0{,}12.10^6 = 120.000 \text{ ohmų.}$$

Čia lyginamajai varžai paimta aritmetinis vidurys iš lentelėje duotų dydžių. Prie vielos diametro 0,5 mm. jos skerspjūvio plotas bus

$$\pi r^2 = 3{,}14 \,.\, (0{,}25)^2 = 0{,}2 \text{ mm.}^2.$$

Taigi lyginamoji varža reikia padauginti į ilgį 200 klm $= 2.10^7$ cm., padauginti dar į 100, nes prie skerspjūvio 1 mm.^{2} varža bus 100 sykių didesnė kaip prie skerspjūvio 1 cm.^{2}, ir pagaliau reikia padalyti į 0,2.

Duosime dar vieną pavyzdį, būtent, apskaitysime, kokio ilgio reikia paimti sidabro viela diametro 1 mm., kad gautume varžą 1 ohmo. Šitam apskaitymui mes turime lygtį:

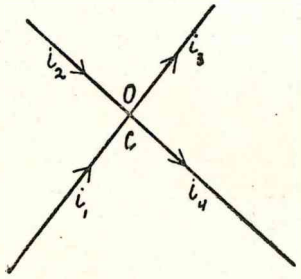
$$1 = \frac{0{,}016.10^{-4}.1}{q} = \frac{0{,}016.10^{-4}.100.1}{0{,}785},$$

nes varža vielos 1 mm.^{2} skerspjūvio bus 100 kartų didesnė kaip 1 cm.^{2} skerspjūvio, o skerspjūvio 0,785 mm.^{2} (t.y. skerspjūvis vielos 1 mm. diametro) bus tiek sykių mažesnė. Iš patiektos lygties išeina sidabro vielos ilgis

$$1 = \frac{0{,}785}{0{,}016.10^{-2}} = \frac{78500}{16} = 4906{,}25 \text{ cm.} = 49{,}0625 \text{ mtr.}$$

Taigi, tokio ilgio sidabro viela 1 mm. diametro turi 1 ohmo varžą.

Aplamai, kalbant apie elektros varžą, reikia pasakyti, kad metalai turi mažiausią elektros varžą (visų didžiausią elektros laidumą) ir elektros laidumo atžvilgiu pirmą vietą metalų tarpe užima sidabras, o paskui varis. Todel varis ir turi tokios didelės reikšmės elektrotechnikoje. Kįlant temperatūrai metalų varža auga ir krintant temperatūrai mažėja. Dewaro metalų elektros varžos matavimai prie skysto oro temperatūros rodo, kad artinantis prie absoliutinio nulio metalų elektros varža asimptotiškai artinasi prie nulio, kitaip sakant, elektros laidumas artinantis prie absoliutinio nulio darosi be galo didelis, tuo tarpu šilimos laidumas metalų prie žemų temperatūrų yra gangreit toks pat, kaip ir prie paprastų temperatūrų. Šiaip, jau reiškiasi aiškus paraleliškumas tarp šilimos laidumo ir elektros laidumo, nes geriausi šilimos laidininkai yra ir geriausi elektros laidininkai, ir atbulai. Pridursime čia dar, kad kokso ir grafito elektros varža kįlant temperatūrai mažėja, o krintant temperatūrai didėja. Grafitas ir koksas kieti kūnai, bet ne metalai, ir todel jų elgesys elektros varžos atžvilgiu skiriasi nuo metalų elgesio, ir yra panašus, kaip mes pamatysime, į elgesį laidininkų antros rūšies arba elektrolitų, kurių elektros varža kįlant temperatūrai mažėja, o jai krintant didėja.



167 pieš.

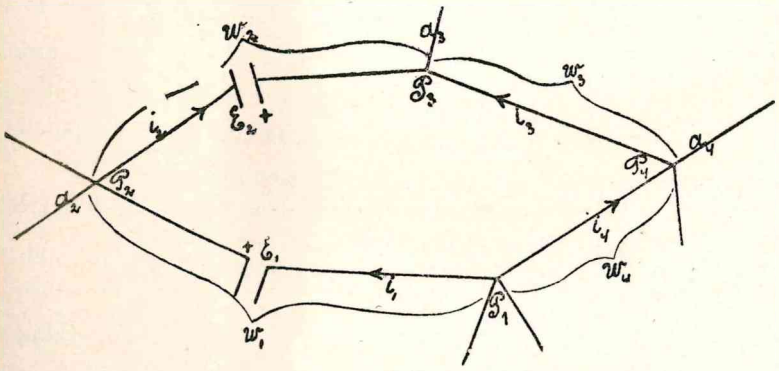
Eisime dabar prie klausimo srovės padalijimo elektros tinkle. Tasai klausimas svarbus ir teoretikui ir elektrotechnikui praktikui. Šiandien visi srovės padalijimo uždaviniai sprendžiami remiantis Kirchhoffo dėsniais, kurie paskelbti 1842 metais. Tuomet Kirchhoffas buvo dar studentas Karaliaučiaus universitete, ir vieną kartą jo fizikos profesorius davė jam uždavinį padalyti srovę tam tikram elektros tinkle. Spręsdamas šitą uždavinį jaunas Kirchhoffas per vieną vakarą sugebėjo išspręsti padalijimo problemą bendra forma, eidamas Ohmo dėsniu. Mes tad turime dabar susipažinti su Kirchhoffo dėsniais ir su jų taikymu bent paprasčiausiems elektros tinklams.

Sudarant elektros tinklą iš vielų visuomet padaromi mazgai, kur sueina 2, 3 ir net daugiau vielų. Kiekvienas elektros srovės tinklas turi daug tokių mazgų. Paimsime vieną tokį mazgą O (žiūr. 167 pieš.), kuriame sueina keturios srovės šakos i_1, i_2, i_3, i_4. Elektros srovė eina tomis šakomis, kaip rodo iešmutės. Paprastai kiekvienas mazgas turi tam tikrą didumą ir, vadinasi, turi tam tikrą talpumą c, nors ir labai mažą. Bet, norėdami uždavinį suprastinti, sakysime, kad visi mazgai yra taškai, vadinasi, jų talpumas $c = 0$. Kaip rodo 167 piešinys, į mazgą O per 1 sekundą priteka elektros

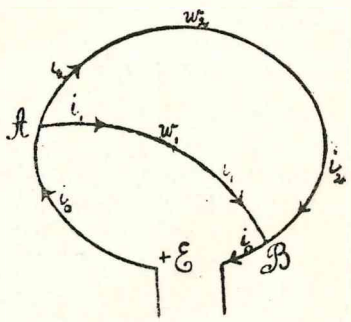
kiekis i_1 ,+ i_2 ir nuteka $i_3 + i_4$. Sakysime, kad priteka mazgui elektros daugiau kaip nuteka. Tad mes turėsime: $(i_1 + i_2) - (i_3 + i_4) > 0$. Bet tas rodo, kad mazge O susidaro tvanka. Kitaip sakant, jeigu mazge potencialas iš pradžios buvo V, tai del šitos tvankos tasai potencialas pasidarys lygus $V + dV$, tai yra padidės per dV del prieauglio elektros mazge, kuris, kaip jau mes žinome, galima išreikšti cdV. Vadinasi, mes tada turėtume lygtį: $(i_1 + i_2) - (i_3 + i_4) = cdV$. Bet jau mes pripažinome, kad mazgas yra geometriškas taškas ir kad jo talpumas $c = 0$. Tad: $(i_1 + i_2) - (i_3 + i_4) = 0$, arba $\Sigma(i) = 0$ (I). Šis yra pirmasai Kirchhoffo dėsnis, kuris sako, kad kiek mazgui priteka elektros per tam tikrą laiką, tiek ir nuteka, arba kad algebrinė suma visų srovių $\Sigma(i)$, sueinančių bet kuriam mazge, visuomet yra lygi 0.

Paimsime dabar dalį srovės tinklo, kuris susideda iš keturių mazgų a_1, a_2, a_3, a_4 ir iš veikiančių tarp tų mazgų, sakysime, dviejų elektrovaromųjų jėgų E_1 ir E_2 pavidalu dviejų Volta elementų arba dviejų batarejų (žiūr. 168 piež.). Pažymėsime mazgų potencialus iš eilės raidėmis P_1, P_2, P_3, P_4, sroves tarp mazgų iš eilės ženklais i_1, i_2, i_3, i_4, nurodydami srovių kryptis iešmomis. Pažymėsime pagaliau varžas tinklo šakų tarp mazgų iš eilės raidėmis w_1, w_2, w_3, w_4. Kiekvienai tinklo šakai tarp mazgų pritaikinsime Ohmo dėsnį. Šakoje tarp mazgų a_1 ir a_2 veikia elektrovaromoji jėga E_1 ir potencialai P_1 ir P_2. Tad taikydami šitai šakai Ohmo dėsnį mes turėsime: $i_1 = \frac{E_1 + P_1 - P_2}{w_1}$ arba $i_1 w_1 = E_1 + P_1 - P_2$ (1). Eidami tuo pačiu dėsniu tinklo šakai tarp a_2 ir a_3 mes turėsime: $i_2 w_2 = E_2 + P_2 - P_3$(2). Pereidami prie tinklo šakos tarp mazgų a_3 ir a_4 ir atsimindami, kad toje šakoje elektrovaromosios jėgos nėra, o srovė eina nuo mazgo a_4 į mazgą a_3, mes turėsime: $i_3 w_3 = O + P_4 - P_3$ (3). Pagaliau paskutinei tinklo šakai tarp mazgų a_1 ir a_4 veiks lygtis: $i_4 w_4 = O + P_1 - P_4$ (4).

Sudedant (1) ir (2) lygtis bus: $i_1 w_1 + i_2 w_2 = E_1 + E_2 + P_1 - P_3$, o sudedant (3) ir (4) lygtis: $i_3 w_3 + i_4 w_4 = P_1 - P_3$. Atimdami nuo pirmosios sumos antrąją sumą gausime: $i_1 w_1 + i_2 w_2 - i_3 w_3 - i_4 w_4 = E_1 + E_2$ arba $\Sigma(i.w) = \Sigma(E)$... (II). Tai yra antrasai Kirchhoffo dėsnis, kuris sako, kad kiekvienoj šakoj sandauga iš tos šakos srovės ir varžos yra lygi elektrovaromajai jėgai, kuri veikia šitoj šakoj, plius algebrinė suma potencialų arba, kalbant apie visas tinklo šakas, antrasai Kirchhoffo dėsnis sako, kad algebrinė suma sandaugų iš srovių ir varžų visų šakų yra lygi algebrinei sumai visų veikiančių tinkle elektrovaromųjų jėgų. Kalbėdami apie algebrinę sumą mes tuo pabrėžiame, kad sudarant sandaugas ir imant jų sumą reikia aprūpinti jas atatinkamais ženklais, taip pat ir sudarant sumą iš elektrovaromųjų jėgų, kitaip sakant, reikia kreipti dėmesio į tai, kuria kryptimi eina srovė ir kuria kryptimi veikia elektrovaromoji jėga. Šitų dviejų paprastų Kirchhoffo dėsnių visiškai pakanka, kad būtų išspręstas klausimas srovės padalijimo painiausiame tinkle. Parodysime tai paėmę du paprasčiausius tinklus. 169 piešinys atvaizduoja tokį paprasčiausią tinklą.

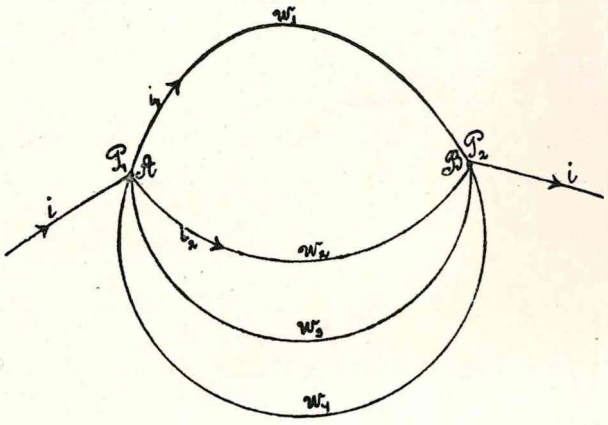


168 pieš.



169 pieš.

Mes čia turime Voltos elementą arba batareją elektrovaromosios jėgos E, uždarytą viela. Paėmę ant tos vielos du tašku A ir B sujungsime juos irgi viela. Tokiu būdu mes gauname du mazgus tinkle A ir B, sujungtus varžų w_1 ir w_2 vielomis, sudarančiomis uždarytą kilpą be elektrovaromosios jėgos. Kitą dalį viso šito tinklo sudaro Voltos elementas, dvi vielos, jungiančios jo polius su mazgais A ir B bendros varžos w_0 ir viela varžos w_1. Uždavinys, kuris reikia išspręsti, čia yra šis: duota elektrovaromoji jėga E ir sudarančių tinklą vielų varžos w_0, w_1 ir w_2. Reikia apskaityti sroves i_0, i_1 ir i_2, kurios eina atskiromis tinklo šakomis. Srovių kryptis parodyta 169 piešiny iešmomis. Taigi mes čia turime tris ieškinius: i_0, i_1 ir i_2. Surasti jiems reikia sustatyti trys lygtys. Tas lygtis mes sustatysime taikydami abu Kirchhoffo dėsnius. Paimsime iš pradžios mazgą A. Į šitą mazgą priteka srovė i_0 ir nuteka srovės i_1 ir i_2. Taigi einant pirmuoju Kirchhoffo dėsniu $i_0 = i_1 + i_2$ (1). Aišku, kad tokią pat lygtį mes gausime taikydami pirmąjį Kirchhoffo dėsnį antrajam mazgui B. Paimsime



170 pieš.

dabar dalį tinklo EAB. Taikydami šitai daliai tinklo antrąjį Kirchhoffo dėsnį mes turėsime $E = i_0\ w_0 - i_1\ w_1$ (2), nes čia srovė i_0 priteka, o srovė i_1 nuteka ir todel sandaugos $i_0\ w_0$ ir $i_1\ w_1$ imamos su priešingais ženklais. Panašią lygtį mes gautumėm, taikydami antrąjį Kirchhoffo dėsnį tinklui E A w_2 B E. Del uždavinio sprendimo vis tiek, kurią iš tų lygčių imsime. Pagaliau pritaikysime antrąjį Kirchhoffo dėsnį tinklo daliai A w_2 B, kurioje nėra veikiančios elektrovaromosios jėgos. Taigi mes turėsime $i_1\ w_1 = i_2\ w_2$, nes pripažinę, kad mazguose veikia potencialai A ir B, mes turėsime, eidami Ohmo dėsniu: $A - B = i_1\ w_1$ ir $A - B = i_2\ w_2$, t. y. $i_2\ w_2 = i_1\ w_1$ arba $O = i_2\ w_2 - i_1\ w_1$ (3). Tokiu būdu mes gauname tris lygtis su trimis ieškiniais ir išsprendžiame jas paprastu algebros būdu. Visų pirma iš lygties (3) eina $i_2 = i_1 \cdot \frac{w_1}{w_2}$.

Pakeitę lygtyje (1) i_2 šituo reiškiniu, mes gausime: $i_0 = i_1 + i_1 \cdot \frac{w_1}{w_2} = i_1 \left[1 + \frac{w_1}{w_2} \right]$.

Pagaliau, pakeitę lygtyje (2) i_0 šita jo verte, mes gausime:

$$E = i_1 \left(1 + \frac{w_1}{w_2} \right) w_0 + i_1\ w_1 = i_1 \left(w_0 + \frac{w_0\ w_1}{w_2} + w_1 \right) = i_1 \left(\frac{w_0\ w_2 + w_0\ w_1 + w_1\ w_2}{w_2} \right).$$

Iš to turime: $i_1 = E \frac{w_2}{w_0\ w_2 + w_0\ w_1 + w_1\ w_2}$.

Pakeitę lygtyje (3) i_1 šita jo verte, gausime: $i_2 = E \frac{w_1}{w_0\ w_2 + w_0\ w_1 + w_1\ w_2}$. Pagaliau atsimindami lygtį (1), gausime: $i_0 = i_1 + i_2 = E \frac{w_1 + w_2}{w_0\ w_2 + w_0\ w_1 + w_1\ w_2}$. Taigi, mes čia turime simetriškas formulas srovėms i_0, i_1, i_2 ir, turėdami tris šakas varžų w_0, w_1, w_2, visur vardiklyje turime sumą tų varžų sandaugų kombinuojant po dvi.

Be to, iš lygties (3) eina $\frac{i_2}{i_1} = \frac{w_1}{w_2}$. Žodžiu, kada srovė pasidalija tarp dviejų šakų, tada srovės tose šakose yra atvirkščiai proporcingos jų varžoms.

Kada iš eilės viena viela prijungiama prie kitos vielos ir t. t., tai visų tų vielų varža yra lygi sumai varžų atskirų vielų. Toksai sujungimas vadinasi eilinis sujungimas, arba sujungimų serija. 170 piešinys rodo kitą būdą tinklui sudaryti iš eilės vielų. Čia prie mazgų A ir B prijungtos keturios vielos varžų w_1, w_2, w_3, w_4, o mazgai A ir B sakysime prijungti prie batarejos arba, aplamai, prie bet kurio srovės ištekliaus. Toksai sujungimo būdas vadinasi sujungimas vielų lygiagrečiai, arba šuntavimas. Pažiūrėsime dabar, kam šituo atveju yra lygi visų vielų varža. Tegu mazgui A priteka srovė i, nuo mazgo B nuteka srovė i. Šita srovė, kad ateina iš šaltinio, vadinasi didžioji, arba pagrindinė, srovė ir jos tinklas vadinasi didysis, arba pagrindinis, tinklas. Pažymėsime potencialus taškuose A ir B raidėmis P_1 P_2 ir sroves atskirose vielose iš eilės raidėmis i_1, i_2, i_3, i_4, nurodydami tų srovių kryptį iešmomis. Tad einant Ohmo dėsniu

$$P_1 - P_2 = i_1 w_1$$
$$P_1 - P_2 = i_2 w_2$$
$$P_1 - P_2 = i_3 w_3$$
$$P_1 - P_2 = i_4 w_4$$

Iš to:

$$i_1 = (P_1 - P_2)\frac{1}{w_1}$$
$$i_2 = (P_1 - P_2)\frac{1}{w_2}$$
$$i_3 = (P_1 - P_2)\frac{1}{w_3}$$
$$i_4 = (P_1 - P_2)\frac{1}{w_4}.$$

Sudėję gausime pirmuoju Kirchhoffo dėsniu:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = (P_1 - P_2)\left[\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \frac{1}{w_4}\right].$$

Pažymėję sujungtų lygiagrečiai vielų visą pasipriešinimą raide W, mes turėsime: $i.W = (P_1 - P_2)$, o iš antros pusės $P_1 - P_2$ yra lygi: $\frac{i}{\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \frac{1}{w_4}}$. Tai reiškia, kad $W = \frac{1}{\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \frac{1}{w_4}}$.

Del suprastinimo sakysime, kad visos lygiagrečiai sujungtos vielos turi tą pačią varžą, t. y. $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = w$. Tad $W = \frac{1}{4.\frac{1}{w}} = \frac{w}{4}$. Vadinasi, sujungiant keturias vielas tos pačios varžos lygiagrečiai, visa jų varža bus 1/4 dalis atskiros vielos varžos. Sujungiant lygiagrečiai n vielų vienodos varžos, visa jų varža bus $\frac{w}{n}$, t. y sudarys tik n-tąją dalį atskiros vielos varžos.

Kitas, kiek painesnis, elektros tinklas žinomas Wheatstone'o tiltu (žiūr. 171 pieš.). Šitą sujungimo schemą Wheatstone'as sugalvojo 1843 metais ir davė jos teoriją eidamas Kirchhoffo dėsniais. 171 piešinio schema skiriasi nuo paprasčiausio tinklo, kurį atvaizduoja 169 piešinys, tik tuo, kad laidininkai, kurie sudaro uždarytą kilpą be elektrovaromosios jėgos, sujungti skersai laidininku DC. Tasai laidininkas čia vadinasi tiltas. Išspręsime srovės padalijimo šitame tinkle (171 pieš.) klausimą taikydami Kirchhoffo dėsnius. Nagrinėjama schema yra sudaryta dviejų konfigūracijų: išorinės, apimančios varžas w_0, w_3 ir w_4, ir išvidinės, apimančios varžas w (tiltas), w_1 ir w_2. Išorinėje konfigūracijoje randasi Voltos elementas, arba batareja, elektrovaromosios jėgos E. Pažy-

mėsime sroves atskirose tinklo dalyse atatinkamai varžoms raidėmis i_0, i_1, i_2, i_3, i_4 ir i (srovė tilte). Uždavinys, kuris reikia išspręsti, yra tas, kad būtų išreikštos visos tos srovės su pagalba duotų varžų ir elektrovaromosios jėgos. Vadinasi, mes čia turime 6 ieškinius. Jiems surasti reikia sustatyti 6 lygtys.

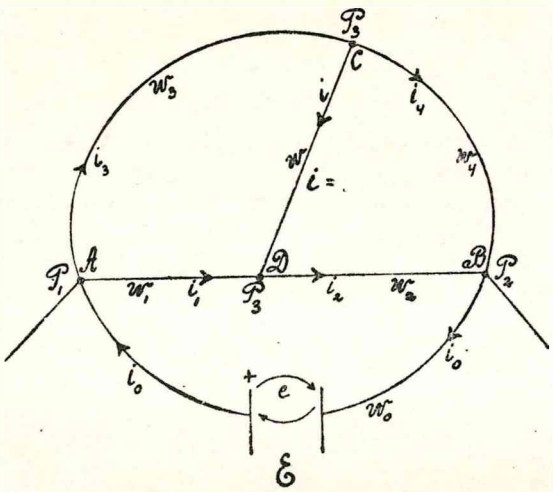
Taikydami pirmąjį Kirchhoffo dėsnį mazgams A, C ir B gausime šias tris lygtis:

$$i_0 = i_1 + i_3 \quad (1)$$
$$i_3 = i + i_4 \quad (2)$$
$$i_0 = i_2 + i_4 \quad (3)$$

Vietoj vienos iš trijų čia parašytų lygčių galima paimti ir lygtis mazgui D, būtent: $i_2 = i_1 + i$. Tai nepakeis uždavinio sąlygų.

Kitas tris lygtis mes gausime taikydami antrąjį Kirchhoffo dėsnį, pavyzdžiui tinklo daliai E A B ir tinklo dalims A C D ir D C B. Tai bus šios trys lygtys:

$$E = i_0\ W_0 + i_1\ W_1 + i_2\ W_2 \quad (4)$$
$$O = i_3\ W_3 + i\ W - i_1\ W_1 \quad (5)$$
$$O = i_4\ W_4 - i_2\ W_2 - i\ W \quad (6)$$



171 pieš.

(turi būti kreipiamas dėmesys į ženklus, pavyzdžiui, sandaugos iw ir $i_1 w_1$ imamos su priešingais ženklais, nes srovės i ir i_1 atkreiptos viena prieš kitą).

Išsprendę šitas 6 lygtis, mes surasime visas 6 sroves. Bet tai mums čia nesvarbu, o svarbu įrodyti, kad tam tikromis sąlygomis, esant tam tikram srovių padalijimui, srovė i tilte gali būti lygi nuliui. Galėjimas realizuoti tokias sąlygas, kaip mes tuoj pamatysime, suteikia Wheatstone'o schemai labai didelės reikšmės aplamai elektriškų matavimų srityje ir ypatingai varžos matavimams.

Iš lygties (2) eina: $i = i_3 - i_4$. Taigi, mums dabar reikia išreikšti duotomis varžomis ir duota elektrovaromąja jėga tos srovės i_3 ir i_4. Su pagalba trijų lygčių mazgams eliminuosime iš trijų lygčių tinklo dalims i_1, i_2 ir i. Iš lygties (1) eina: $i_1 = i_0 - i_3$. Iš lygties (2) eina: $i = i_3 - i_4$. Pagaliau iš lygties (3) eina: $i_2 = i_0 - i_4$. Šitomis vertėmis i_1, i_2 ir i pakeisime tas sroves trijose lygtyse (4, 5 ir 6) trims tinklo dalims. Tad gausime šias tris lygtis:

$$1)\ E = i_0\ (W_0 + W_1 + W_2) - i_3\ W_1 - i_4\ W_2$$
$$2)\ O = -i_0\ W_1 + i_3\ (W_3 + W + W_1) - i_4\ W$$
$$3)\ O = -i_0\ W_2 - i_3\ W + i_4\ (W_4 + W_2 + W).$$

(Skaitytojui patariama pačiam atlikti visi reikalingi veiksmai, kad prieitų šias tris lygtis).

Dabar mes turime tik tris lygtis su trimis ieškiniais, būtent: i_0, i_3 ir i_4.

Del formulų suprastinimo parašysime:

$$W_0 + W_1 + W_2 = N_1$$
$$W + W_1 + W_3 = N_2$$
$$W + W_2 + W_4 = N_3$$

Privestos trys lygtys atrodys šitaip:

$$1)\ E = i_0 N_1 - i_3 W_1 - i_4 W_2$$
$$2)\ O = -i_0 W_1 + i_3 N_2 - i_4 W$$
$$3)\ O = -i_0 W_2 - i_3 W + i_4 N_3$$

Eliminuodami iš šitų trijų lygčių i_0 mes gausime:

$$i_0 = \frac{E + i_3 W_1 + i_4 W_2}{N_1} = \frac{i_3 N_2 - i_4 W}{W_1} = \frac{i_4 N_3 - i_3 W}{W_2}$$

Mes dabar turime tik dvi lygtis su 2 ieškiniais ir spręsdami jas paprasčiausiu būdu surasime i_3 ir i_4, būtent:

$$i_3 = E \frac{W_1 (N_3 W_1 + W W_2)}{(N_1 N_2 - W_1^2)(N_3 W_1 + W W_2) - (N_2 W_2 + W W_1)(N_1 W + W_1 W_2)}$$

$$\text{ir } i_4 = E \frac{W_1 (N_2 W_2 + W W_1)}{(N_1 N_2 - W_1^2)(N_3 W_1 + W W_2) - (N_2 W_2 + W W_1)(N_1 W + W_1 W_2)}.$$

Pažymėsime vardiklį dviejų paskutinių lygčių raide N. Tad tilto srovė bus:

$$i = i_3 - i_4 = \frac{E [N_3 W_1^2 + W W_1 W_2 - N_2 W_1 W_2 - W W_1^2]}{N}.$$

Nesunku matyti, kad vardiklis N bus sudarytas suma sandaugų visų šešių varžų, paimtų po tris. Atlikę nurodytus paskutinėje lygtyje veiksmus, pakeitę N_3 ir N_2 jų vertėmis mes, pagaliau, gausime:

$$i = i_3 - i_4 = \frac{E W_1 (W_4 W_1 - W_2 W_3)}{N}.$$

Taigi aišku, kad srovė i tilte bus lygi nuliui, kada $W_4 W_1 = W_2 W_3$. Iš šitos lygties eina: $\frac{W_1}{W_3} = \frac{W_2}{W_4}$ arba $\frac{W_1}{W_2} = \frac{W_3}{W_4}$. Vadinasi, pasiekus tokį srovių padalijimą, kad srovė tilte būtų lygi nuliui, varžos keturių šakų, i kurias tiltas padalys laidininkus ADB ir ACB, sudarys geometrišką proporciją.

Nesunku matyti ir be šitų ilgų išvadų, kad pasiekę Wheatstone'o schemoje tokį srovių padalijimą, prie kurio $i = 0$, mes turėsime proporcingumą tarp varžų keturių šakų. Iš tikrųjų, kada srovė i tilte pasidarys lygi nuliui, tai tinklo mazguose C ir D veiks tie patys potencialai. Pažymėsime mazgų C ir D potencialus raide P_3, o potencialus mazgų A ir B iš eilės raidėmis P_1 ir P_2. Tad, eidami Ohmo dėsniu, mes turėsime:

$$P_1 - P_3 = W_1 i_1$$
$$P_1 - P_3 = i_3 W_3$$
$$P_3 - P_2 = i_2 W_2$$
$$P_3 - P_2 = i_4 W_4$$

Iš šitų keturių lygčių:

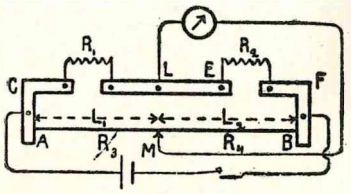
$$W_1 i_1 = W_3 i_3$$
$$W_2 i_2 = W_4 i_4$$

Padalijus panariai pirmąją lygtį į antrąją, gausime: $\frac{W_1 i_1}{W_2 i_2} = \frac{W_3 i_3}{W_4 i_4}$.

Atsiminsime dabar pirmąjį Kirchhoffo dėsnį ir tą sąlygą, kad $i = 0$. Mazgui D veikia lygtis $i_1 + i = i_2$ ir mazgui C veikia lygtis $i_3 = i + i_4$. Bet $i = 0$. Taigi $i_1 = i_2$ ir $i_3 = i_4$. Vadinasi, proporcija $\frac{W_1 i_1}{W_2 i_2} = \frac{W_3 i_3}{W_4 i_4}$ virsta proporcija $\frac{W_1}{W_2} = \frac{W_3}{W_4}$.

Parodysime dabar, kaip aprašyta čia Wheatstone'o schema galima naudotis pirmos rūšies laidininkų varžoms matuoti.

172 piešinys atvaizduoja schematiškai aparatą varžoms matuoti, kurio konstrukcija padeda sudaryti Wheatstone'o schemą. Mes čia turime lentą AB su škala, padalyta į m/m. Ant tos lentos ištempta viela iš tokio metalo, kurio varža labai mažai kinta nuo temperatūros. Tos vielos ilgis ne mažesnis kaip 1 metras. Dažniausiai viela imama padaryta iš konstantano arba manganino ir rečiau iš platinos. Vielos galai kietai prijungiami prie metalinių sulenktų tiesiu kampu sijų C ir F (dažniausiai misinginės sijos). Tos sijos aprūpintos sraigtais (bornais), kuriais galima prijungti prie jų Voltos elementas arba batareja. Ant tos pačios lentos tarp sijų C ir F galų randasi tiesialinė sija DE, aprūpinta trimis sraigtais D, L ir E. Įjungsime su pagalba sraigtų ant galų tiesialinės sijos ir ant galų užlenktų tiesiu kampu sijų C ir F dvi varžas R_1 ir R_2, iš kurių viena, sakysime, R_1 nežinoma. Galvanometras čia parodytas ratuku su iešma. Prijungsime vieną galvanometro solenoido galą prie L, o antrą galvanometro solenoido galą prijungsime su pagalba ilgesnės vielos prie metališko kontakto M, kuris gali šliaužti išilgai vielos AB. Pagaliau prijungsime galvaninio elemento arba batarejos polius (čia atvaizduoti dviem vertikaliais bruoželiais) prie užlenktų tiesiu kampu metališkų sijų C ir F su pagalba atatinkamų sraigtų. Kad visą laiką neitų srovė per aprašytą čia tinklą, įterpsime į batarejos vielą mygtuką, panašų į elektros skambučio mygtuką, kaip rodo 172 piešinys. Sulyginant aprašytą čia sujungimo schemą su 171 piešinio schema nesunku matyti, kad mes čia turime Wheatstone'o tiltą ir kad tilte LM randasi galvanometras. Paspausime mygtuką. Tegu galvanometras atsilenks. Vadinasi, tilte yra srovė. Tai reiškia, kad santykis $\frac{R_1}{R_2}$ nėra lygus santykiui $\frac{AM}{MB} = \frac{R_3}{R_4}$. Todel mes šliaužiame kontaktu M į vieną ar į antrą pusę, laikas nuo laiko spausdami mygtuką ir žiūrėdami, ar galvanometras atsilenkia, ar ne. Aišku, kad manipuliuodami tokiu būdu mes visuomet galime atsiekti tokią kontakto M būklę, kad per galvanometrą neis srovė, vadinasi, kad srovė i tilte pasidarys lygi nuliui. Tad mes turėsime: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$, iš to eina matuojamoji varža $R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4}$. Bet, kaip jau mes žinome, varža $R_3 = r. \frac{L_1}{q}$ ir $R_4 = r. \frac{L_2}{q}$. Čia r reiškia ištemptos ant škalos vielos AB lyginamąją varžą, q reiškia paimtos vielos skerspjūvio plotą (būtina sąlyga, kad viela per visą savo ilgį būtų vienodo skerspjūvio) ir L_1 ir L_2 reiškia vielos atkarpų ilgius nuo A ligi kontakto M ir nuo kontakto M ligi B. Tokiomis sąlygomis $\frac{R_3}{R_4} = \frac{L_1}{L_2}$ ir matuojama varža $R_1 = R_2 . \frac{L_1}{L_2}$. Taigi įjungus matuojamąją varžą R_1, kaip rodo 172 piešinys, ir žinomąją varžą R_2, mums tik reiks surasti santykis dviejų ilgių, kad išreikštume matuojamąją varžą su pagalba žinomos varžos. Vadinasi, matavimas varžos išeina dviejų ilgių matavimu. Pridursime čia, kad varža sijų C F ir D E turi būti labai maža. Kad tai gautume, tos sijos imamos didelio skerspjūvio ploto sulyginti su jų ilgiu. Be to, ir varža visų vielų, su kurių pagalba prijungiama batareja, galvanometras, matuojamoji varža ir žinomoji varža, turi būti labai maža sulyginti su matuojamąja varža.



172 pieš.

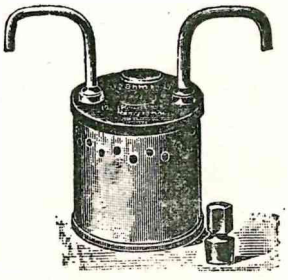
Nesunku suvokti, kad galima eliminuoti klaidos del varžos prijungimo vielų, suradus ant vielos AB nulinę galvanometro būklę trijose vietose (žiūr. 172 pieš.) 1) esant galvanometro vielai L tarp D ir E; 2) esant tai vielai tarp C ir R_1 ir 2) esant tai

vielai tarp F ir R_2 ir paėmus apskaitymui matuojamos varžos vietoj ilgių L_1 ir L_2 ilgius L_1 — skaičius ant škalos, atatinkąs nulinę padėtį galvanometro antruoju atveju, ir L_2 — skaičius ant škalos, atatinkąs nulinę padėtį galvanometro trečiuoju atveju.

Nesunku pagaliau suvokti, kad pagrindinė sąlyga Wheatstone'o schemos nulinės būklės, būtent $w_1 w_4 = w_2 w_3$ (žiūr. 171 pieš.) arba $R_1 R_4 = R_2 R_3$ gali būti išpildyta ir tada, kada galvanometras ir batareja pasikeis vietomis, t. y. kada galvanometras bus prijungtas prie taškų A ir B (žiūr. 171 pieš. ir 172 pieš.), o batareja bus tilte DC (171 pieš.) arba LM (172 pieš.). Ratas ABC (171 pieš.) arba ACLFB (172 pieš.) sudaro tai, ką mes anksčiau pavadinome šuntu. Wheatstone'o schema bus jautriausia tada, kada šitas šuntas bus prijungtas prie aparato mažiausios varžos. Vadinasi, jeigu batareja turi mažesnę varžą, kaip galvanometras, tai batareja reikia prijungti prie taškų A ir B, o galvanometras palikti tilte. O tuo atveju, kada galvanometro varža yra mažesnė kaip batarejos varža, batareja reikia įvesti į tiltą, o galvanometras prijungti prie taškų A ir B.

Pagaliau, reikia atkreipti dėmesio ir į tai, kad matuojamoji varža bus nustatyta su minimale klaida tuo atveju, kada kontaktas M (172 pieš.) bus ant vielos AB (škalos) vidurio arba netoli nuo to vidurio į vieną ar į antrą pusę. Šita išvada išeina iš matavimo klaidų teorijos, kuri teorija remiasi tikrenybių teorija. Taigi matuojant varžą x elgiamasi visuomet šitaip: iš pradžios x jungiamas greta su bet kuria žinoma varža R ir surandama vertė x iš formulos $x = R \cdot \frac{L_1}{L_2}$. Mes tokiu būdu apytikriai nustatysime x. Dabar tas pats x įjungiamas greta su tokia varža, kuri maža skiriasi nuo x ir vėl nustatoma nulinė galvanometro būklė. Šituo atveju kontaktas M bus vielos AB vidury arba arti nuo to vidurio ir mes gausime rezultatą didžiausio galimo tikslumo.

Varžos matavimams reikia turėti varžos standartas ir varžos rinkiniai (magazinai) arba varžos dėžės, nelyginant kaip reikia turėti svarelių rinkiniai svėrimams. Mes jau anksčiau paminėjome, kad tarptautinis elektrikų kongresas nustatė 1 ohmą, varža gyvojo sidabro vielos vienodo skerspjūvio, ilgio 106,3 cm., skerspjūvio ploto 1 m. m^2 ir svorio 14,4521 gramų prie temperatūros 0^0. Aišku, kad toksai standartas nepatogus kasdieniniam vartojimui. Todel laboratorijos reikalams vartojami varžos standartai, kurie dažniausiai gaminami iš manganino. Tai yra lydinys iš 84% vario, 12% mangano ir 4% nikelio. Tasai lydinys turi nedidelį varžos temperatūrinį koeficientą, t. y. jo varža mažai kinta kįlant arba krintant temperatūrai Be to, ir jo struktūra, nuo kurios žymiai pareina medžiagos varža, ilgainiui maža kinta. 173 piešinys išorėje atvaizduoja varžos standartą, kuris gali būti 1 ohmas, $^1/_{10}$ dalis ohmo, $^1/_{100}$ ohmo, arba 10, 100 ohmų ir t. t. Metalinės dėžės vidury randasi misinginis vamzdis, apvilktas šilku ir gerai lakiruotas. Reikiamo ilgio ir diametro manganino viela (tokio ilgio ir diametro, kad jos varža būtų arba 1 ohmas arba ohmo trupmena, arba ohmo kartotinas) apvilkta šilku, per pusę sulenkiama ir apvyniojama lygiagrečiais vingiais ant misinginio vamzdžio. Toksai apvyniojimo būdas vartojamas tam, kad einant srovei per vielą būtų pašalintas indukcijos veikimas, apie kurį mes kalbėsime vėliau. Todel toksai apvyniojimas vadinasi laisvas nuo indukcijos apvyniojimas. Vielos galai prijungiami prie užlenktų storų metalinių vamzdžių, kurie matyti viršuj dėžės. Toksai standartas įjungiamas į elektros tinklą su pagalba dviejų puodelių su gyvuoju sidabru. Užlenktų vamzdžių galai įleidžiami į gyvąjį sidabrą puodeliuose. Tai daroma del tobulesnio kontakto. Einant nors ir silpnai srovei per vielą šiek tiek kįla temperatūra. Kad būtų išlaikyta vielai kambario temperatūra, reikia ji vėdinti. Tai daroma išėmus kamštį iš dėžės viršaus ir leidžiant tokiu būdu orui laisvai cirkuliuoti. Tam pačiam tikslui viršutinėje dėžės dalyje randasi eilė skylių.

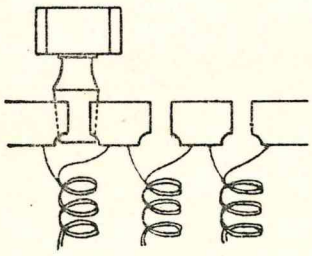


173 pieš.

Pridursime dar, kad pašalinti indukcijai arba, kitaip sakant, pašalinti magnetiniam laukui, del kurio, kaip mes pamatysime vėliau, varža atrodo didesnė, galima

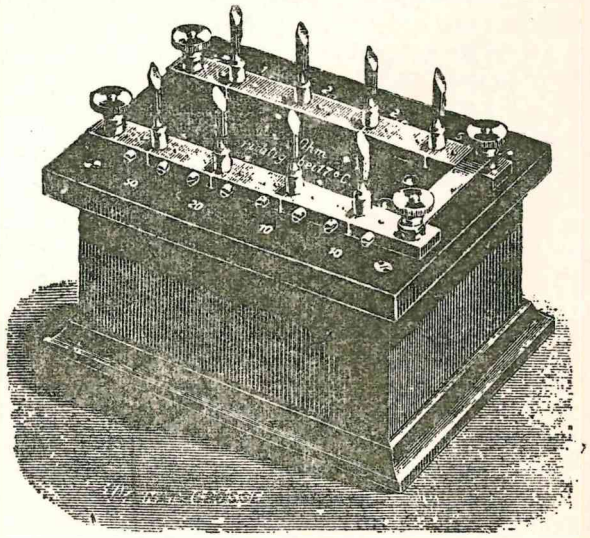
viela apvynioti ant cilinderio ir taip: vynioti, sakysime, iš apačios augštyn, glaudžiant vingį prie vingio, ir toliau vynioti iš viršaus žemyn, glaudžiant vingį prie vingio, ir toksai apvyniojimo būdas vadinasi laisvas nuo indukcijos apvyniojimas.

Paprastai įvairaus didumo varža daroma iš manganino vielos, apvyniojant ją vienu iš augščiau nurodytų būdų ant medinės špulės. Dažnai greta su manganinu vartojamas lydinys Eureka (60 % vario ir 40 % nikelio, „vokiečių sidabras"). Ir manganinas ir Eureka turi gan augštą lyginamąją varžą. Todel pakanka, sulyginti, neilgų vielų, kad būtų gauta žymi varža. Turint eilę tokių medinių špulių, apvyniotų manganino viela įvairaus ilgio ir diametro, iš tų špulių sudaroma varžos dėžės arba varžos magazinai.



174 pieš.

Tokios dėžės dalį schematiškai atvaizduoja 174 piešinys. Tokios dėžės viršus iš ebonito ir ant to viršaus mes turime iš vienos ir iš antros pusės eilę storų ir trumpų misinginių sijų. Galai vielos, apvyniotos ant špulės tuo ar kitų laisvu nuo indukcijos būdu prijungiami prie gretimų misinginių sijų. Tarpas tarp sijų išgręžtas pavidalu cilindrinės skylės, į kurią galima įkišti misinginis cilindrinis štepselis, kaip rodo 174 piešinys. Tiksliau kalbant, ir tarpas tarp sijų ir štepselis turi nukirsto iš abiejų galų kūgio pavidalą ir toksai štepselis nekišamas, bet lengvai įsukamas į tarpą. Jeigu iš tarpo tarp sijų štepseliai bus ištraukti, tai srovė turės iš eilės eiti per visas špules, būtent: nuo pirmos sijos į pirmą špulę, iš jos į antrą siją, iš tos sijos į antrą špulę, iš jos į trečią siją ir t. t... Įkišus štepselį į tarpą tarp pirmųjų dviejų sijų srovė dabar eis tiesiai per štepselį ir sijas į antrą špulę, paskui į trečią ir t. t. ir be galo maža srovės dalis eis per pirmą špulę. Dalykas tas, kad, įkišę štepselį, mes, taip sakant, šuntuojame špulę tarp sijų labai maža varža. Tegu, pavyzdžiui, dviejų sijų ir štepselio ilgis bus 4 cm., o skerspjūvis bus 1 cm.^{2}. Misingio lyginamoji varža (žiur. anksčiau duotą lentelę) yra lygi $0{,}08.10^{-4}$ ohmų, o sijų ir štepselio varža 32 milijoninės ohmo, tuo tarpu, sakysime, varža špulės— 1 ohmas. Kadangi, einant Kirchhofo dėsniu, srovė pasidalija atvirkščiai proporcingai varžoms, tai per špulę tokiomis sąlygomis eis mažiau kaip 32 milijoninės dalys visos srovės. Vadinasi, praktiškai, visa srovė eis per sijas ir štepselį. Taigi, norint padidinti varžą reikia traukti štepseliai laukan, o norint sumažinti varžą, reikia kišti štepselis į atatinkamus tarpus tarp skylių.



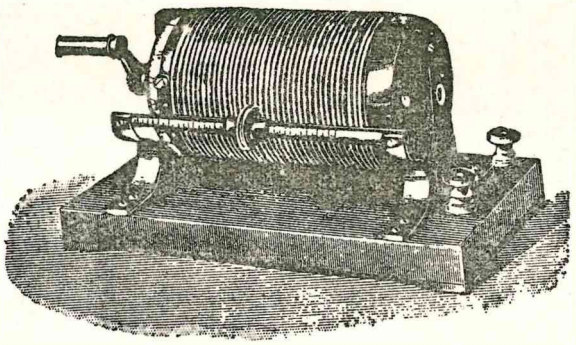
175 pieš..

175 piešinys atvaizduoja tokį varžos magaziną arba varžos dėžę išorėje. Mes čia turime aštuonias špules, kurios, ištraukus visus štepselius, duoda varžą 100 ohmų. Ištraukę, sakysime, antrą, ketvirtą ir aštuntą štepselius, mes turėsime 57 ohmus varžos. Paprastai kiekviena dekada tokios dėžės turi keturias špules, būtent: 1 ohmas, 2 ohmai, 3 ohmai ir 4 ohmai, arba 1 ohmas, 2 ohmai, 2 ohmai ir 5 ohmai; kita dekada 10 ohmų, 10 ohmų, 20 ohmų ir 50 ohmų; toliau 100 ohmu, 100 ohmų, 200 ohmų ir 500 ohmų ir t. t. Čia išlaikytas tas pats principas, kaip sudarant svarelių rinkinį.

Kad matavimo metu vielos kiek galima turėtų kambario temperatūros, einant per jas srovėms, reikia jos vėdinti. Tai daroma duodant orui laisvai cirkuliuoti ištraukus atatinkamus kamščius, kuriais aprūpintos varžos dėžės ir apačioj ir viršuj.

Atliekant elektros matavimus dažnai tenka didinti arba mažinti varža tolydžia arba mažesnėmis pertraukomis, kaip tai galima būtų daryti su pagalba varžos magazinų. Tam tikslui vartojami reostatai. 176 piešinys atvaizduoja vadinamą valcinį reostatą. Ant cilinderio iš marmulo čia apvyniota viela gausiais vingiais, izoliuotais vienas nuo kito. Vienas galas tos vielos prijungtas, sakysime, prie dešiniojo sraigto. Kitas sraigtas sujungtas su cilindrine metaline škala. Ant tos škalos užmautas skrituliukas, ant kurio apskritimo išskaptuotas negilus latakėlis. Sukant marmulo cilinderį už rankenos į vieną pusę, tasai skrituliukas riedės, sakysime, iš dešinės į kairę pusę. Sukant marmulo cilinderį į antrąją pusę, rutuliukas riedės iš kairės į dešinę pusę. Tokiu būdu mes galime įvesti į elektros tinklą daugiau ar mažiau apvyniotos ant cilinderio vielos vingių, vadinasi, galime įvesti didesnę ar mažesnę varžą. Prie skritulio būklės, kurią atvaizduoja 176 piešinys, įvesta pusė visų vingių. Srovė įeina per dešinįjį sraigtą į vielą, apibėga tos vielos vingius ligi skritulio ir per skritulį ir metalinę škalą grįžta į kairįjį sraigtą. Įvestas vingių skaičius atskaitomas tiesiog ant škalos. Taigi, žinodami vieno vingio varžą mes tuojau apskaitysime įvestą į tinklą varžą.

Kada tenka reguliuoti varžą, sulyginti, plačiose ribose, tai vartojami reostatai turi konstrukciją, kurią atvaizduoja 177 piešinys. Čia mes turime visą eilę spyruoklių iš vielos arba iš plonos metalinės juostos (dažniausiai imama medžiaga, kuri turi didesnę lyginamąją varžą, t. y. geležis ir tokie lydiniai, kaip manganinas, konstantanas, Eureka). Visi tie spyruokliai sujungti iš eilės, kaip rodo piešinys. Kraštutinių spyruoklių galai ir vielos, jungiančios apatinius spyruoklių galus, prijungti prie mygtukų 0, 1, 2, 3 ir t. t. Per tuos mygtukus gali šliaužti metališkas kontaktas, aprūpintas rankena K iš izoliuojamos medžiagos. Šitas metališkas kontaktas prijungtas prie sraigto B viela, o kraštutinis spyruoklis iš dešinės pusės prijungtas prie sraigto A. Prijungus, sakysime, +polį batarejos prie A, o — polį prie B srovė turės apibėgti visus spyruoklius ir tik iš paskutinio spyruoklio iš kairės pusės pateks į kontaktą K ir iš ten per B atgal į batareją. Pasukus rankena K taip, kad kontaktas atsidurtų, sakysime, ant pirmojo mygtuko, srovė apibėgs pirmąjį ir antrąjį spyruoklius iš dešinės pusės, pateks į kontaktą ir iš ten atgal į batareją. Pastačius kontaktą ant nulinio mygtuko, srovė iš A tiesiog pateks į kontaktą K ir iš ten atgal į batareją. Taigi, sukant kontaktą iš dešinės į kairę pusę bus įvedama į tinklą vis daugiau ir daugiau varžos, o sukant iš kairės į dešinę pusę varža vis labiau ir labiau bus išvedama iš tinklo.



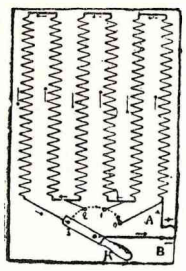
176 pieš.

Gaminant tokius reostatus ir vartojant juos reikia atsiminti, kad jie gali smarkiai įkaisti, ir todel jie turi būti taip konstruoti, kad tarp spyruoklių eilių galėtų laisvai cirkuliuoti oras. Todel dėžės, kuriose dažnai būna tokie reostatai, reikia aprūpinti plyšiais arba skylėmis išilgai tarpų tarp spyruoklių.

Anksčiau jau nurodyta, kad metalų varža žymiai pareina nuo temperatūros: didėja kįlant temperatūrai ir krinta mažėjant temperatūrai. Jau minėti Dewaro tyrinėjimai, o ypač Leydeno Universiteto fiziko Kammerlingh Onnes'o, kuris matavo sidabro, vario, platinos ir kitų metalų varžas prie absoliutinės temperatūros $+4^0$, t. y. skysto helijo virimo temperatūros, aiškiai rodo, kad prie labai žemų temperatūrų metalų varža darosi be galo maža. Praktiškai kalbant, metalai prie labai mažų tempe-

ratūrų visiškai nustoja varžos. Kammerlingh Onnes įsitikino, kad prie absoliutinės temperatūros $+4^0$, paleidus srovę per sidabrinį arba varinį žiedą, ta srovė laikosi ištisas valandas išjungus elektrovaromąją jėgą. Šitas faktas aiškiai rodo, kad elektros srovė pareina nuo kažkokių ultra-dalelių judėjimo (elektronų) ir kad elektros varža yra savo rūšies trynimas, kuris trukdo tų ultra-dalelių judėjimą. Toksai trukdymas yra gan žymus prie paprastų temperatūrų ir darosi dar didesnis prie aukštų temperatūrų. Bet jis virsta gangreit nuliu prie labai žemų temperatūrų, nes tada, suteikus ultra-dalelėms impulsą, jos nesiliauna judėję ilgą laiką.

Pažymėsime vielos varžą prie temperatūros 0^0 raide R_0, o prie temperatūros t raide R_t. Tad $\frac{R_t - R_0}{R_0 \cdot t} = a$ ir vadinasi temperatūrinis varžos koeficientas. Išmatavus varžą tos pačios vielos Wheatstone'o tilto metodu prie įvairių temperatūrų (sakysime, prie tirpstančio ledo temperatūros, prie temperatūros tirpimo Woodo metalo 65^0 ir prie verdančio vandens temperatūros) mes galėsime apskaityti temperatūrinį koeficientą. Iš minėtos formulos temperatūriniam koeficientui išeina $R_t = R_0 (1 + at)$ pažįstama jau mums gerai binominė lygtis, su kurios pagalba, žinant temperatūrinį koeficientą ir varžą prie pradžios temperatūros 0^0 galima apskaityti varža prie bet kurios temperatūros, atsimenant vienok, kad dažniausiai temperatūrinis varžos koeficientas nėra pastovus dydis, ir kad tiksliau išreiškia pareina varžos nuo temperatūros lygtis $R_t = R_0 (1 + at + bt^2)$. Kad koeficientai a ir b labiau atatiktų tikrenybę, reikia išmatuoti paimtos vielos varža kiek galima platesnėse temperatūros ribose. Bet ir paskutinės lygties nebegalima jau taikyti žemoms temperatūroms del anksčiau nurodyto staigaus varžos kritimo prie labai žemų temperatūrų.

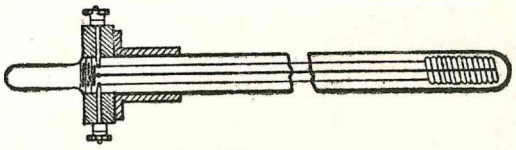


177 pieš.

Antra vertus, žinant vieną temperatūrinį koeficientą a, arba dar geriau, abudu a ir b ir išmatavus varžą galima pagal paskutinę lygtį apskaityti temperatūra, prie kurios varža išmatuota. Taigi galima naudotis viela matuojant jos varžą kaip termometru. Tai bus elektriškas varžos termometras, kuris šiandien labai uoliai vartojamas. Tokį varžos termometrą atvaizduoja 178 pieš. Dažniausiai tokiems termometrams imama platinos viela pavidalu spyruoklio, kaip rodo piešinys, apvynioto ant cilinderio arba vamzdžio iš kvarco. Galai to spyruoklio prijungti prie dviejų sraigtų, ir visa tai įdedama į stiklo vamzdį arba, dar geriau, į metalinį vamzdį vidutiniškoms temperatūroms matuoti ir į porcelano vamzdį augštoms temperatūroms matuoti. Kad būtų surastos tokio termometro konstantos a ir b, reikia išmatuoti jo varža prie trijų temperatūrų, būtent prie 0^0, prie t_1 ir prie t_2 ($t_1 = 50^0$, $t_2 = 100^0$). Varža matuojama Wheatstone'o tilto metodu. Šitie matavimai duos mums dvi lygtis:

$$R_{t_1} = R_0 (1 + at_1 + bt_1^2)$$
$$R_{t_2} = R_0 (1 + at_2 + bt^2_2).$$

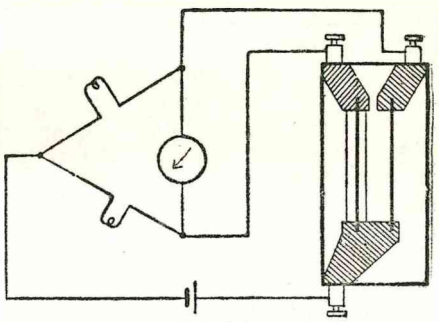
Išsprendę jas, mes surasime ieškinius a ir b. Turėdami šitas dvi konstantas, mes galime apskaityti varžą termometro temperatūroms 10, 20, 30, 40^0... ir atidėdami ant abscisos varžas, o ordinatomis atatinkamas toms varžoms temperatūras ir, sujungę, tų ordinatų galus, gausime termometro kreivą, kuri padės mums kiekvienai išmatuotai varžai tuojau atskaityti atatinkamą temperatūrą, ištiesus iš abscisos taško, pažymėto išmatuota varža, ordinatą ligi susikirtimo su termometro kreivąja ir, suradus tos ordinatos ilgį, sutartais vienetais. Toksai termometras iš platinos vielos įgalina daryti temperatūros matavimus ligi 1200^0, nes ligi tos temperatūros platinos temperatūros koeficientas yra gan



178 pieš.

pastovus dydis. Taigi, mes čia matuojame varžą Wheatstone'o tiltu ir jau iš varžos, sprendžiame apie temperatūrą.

„Šviesos" skyriuje, kalbėdami apie radiaciją (žiūr. 16 §, 270, 271 puslap.) mes jau paminėjome trumpai bolometrą, kuris įgalina nustatyti labai mažas temperatūros atmainas, kai kuriais atvejais net ligi vienos milijoninės dalies graduso. Bolometras irgi yra elektros varžos termometras ir vartojamas radiacijos energijai matuoti, kuri absorbuojama, sakysime, platinos juodžių virsta šilima, ir todel pakelia truputį platinos temperatūrą ir, vadinasi, truputį padidina platinos varžą. 179 piešinys atvaizduoja ir schemą tokio bolometro ir Wheatstone'o tiltą, kuriame toksai bolometras vartojamas. Patsai bolometras susideda iš dviejų plonų ir siaurų platinos lapelių. Lapelio storumas apie 1 mikroną. Abudu lapeliai turi būti to paties ilgio, to paties pločio ir storumo, vienu žodžiu, jų varža turi būti ta pati, jeigu jų temperatūra ta pati. Abudu lapeliai padėti greta tam tikram turėklyje iš izoliuojamos medžiagos ir įdėti į vamzdį. Apatiniai lapelių galai prijungti prie vieno sraigto (borno), o viršutiniai galai prie atskirų sraigtų. Abudu lapeliai aptraukti ploniausiu sluogsniu platinos juodžių, bet padėti vamzdyje taip, kad radiacija veiktų tik vieną lapelį (vienas iš lapelių uždengtas plokštele iš šiferio arba marmulo, pusėtino šilimos laidininko). Kad geriau paaiškėtų sujungimo schema, kurią atvaizduoja 179 piešinys, skaitytojui patariama dar pažiūrėti Wheatstone'o tilto schemos (žiūr. 171 pieš.) ir atsiminti, kad kai kuriais atvejais reikia padėti batareja tilte, o galvanometras pagrindiniam tinkle. 179 piešinio schema duoda tokį sujungimą. Bornas, prie kurio prijungti abiejų platinos lapelių galai, yra tas Wheatstone'o tilto mazgas, nuo kurio eina tiltas su elementu. Antrasis to tilto galas prijungtas prie mazgo, nuo kurio eina dvi lygios varžos. Galvanometras randasi pagrindinėje tinklo šakoje, kuri eina nuo mazgų, sudarytų viršutiniais platinos lapelių galais ir dviejų lygių varžų galais. Taigi, kol abudu platinos lapeliai turi tą pačią temperatūrą, jų varža bus kompensuota dviem lygiomis varžomis. Kaip tik ant paviršiaus vieno lapelio krinta šviesos arba šilimos spinduliai, tų spindulių energija, platinos juodžių absorbuojama, platinos lapelio temperatūra kįla, varža didėja, ir mes turime galvanometro atsilenkimą. Turint jautrų galvanometrą, aprašyta čia kombinacija irgi yra labai jautri. Bet jautrus galvanometras visuomet turi didelį vingių skaičių, vadinasi, yra didelės varžos galvanometras. Todel tad reikia galvanometras tais atvejais padėti pagrindinėje Wheatstone'o tilto šakoje, o galvaninis elementas tilte.



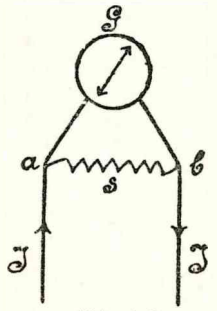
179 pieš.

Pagaliau, trumpai paminėsime čia, kad tos pačios medžiagos varža smarkiai pareina nuo jos struktūros ir nuo priemaišų. Mažiausios priemaišos gali žymiai pakeisti medžiagos varžą. Varža užgrūdyto plieno ir atleisto plieno yra nevienoda. Be to, ilgainiui, ypač vartojant varines ir kitokias vielas srovėms, medžiagos struktūra kinta ir kinta varža. Tarp kita ko vario, manganino, konstantano varža ilgainiui mažėja.

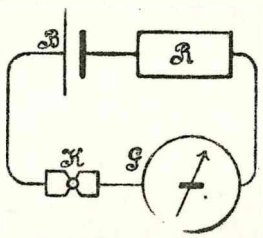
Sąryšy su Ohmo ir Kirchhoffo dėsniais pažymėsime čia dar šunto reikšmę, ypač vartojant galvanometrus. Kaip jau mes matėme, galvanometrai yra labai jautrūs instrumentai, bet del didelio vingių skaičiaus ir del didelės varžos jais galima matuoti tik nedidelės srovės, o pripuolamai arba per klaidą paleidus per galvanometrą stipresnę srovę galima sudeginti solenoido špulę ir, vadinasi, visiškai sunaikinti galvanometrą. Bet dažnai tenka naudotis galvanometrais stipresnėms srovėms matuoti. Tokiais atvejais lygiagrečiai galvanometro solenoido varžai prijungiama mažesnė varža. Kitaip sakant, galvanometras šuntuojamas, arba aprūpinamas šuntu. Galvanometrą su šuntu schematiškai atvaizduoja 180 piešinys. Iš tinklo eina srovė J. Kad ji galima būtų išmatuoti galvanometru, lygiagrečiai pastarojo varžai prijungtas šuntas ab, taip kad srovė J mazge a pasidalija tarp šunto ir galvanometro. Pažymėsime galvanometro

varžą raide g, o šunto varžą raide s. Tad remiantis 170 piešiniu ir tuo, kas sąryšy su šituo piešiniu išdėstyta, galvanometro ir šunto varža galima pakeisti ekvivalentinga jiems varža $\frac{1}{\frac{1}{g}+\frac{1}{s}} = \frac{g\,s}{s+g}$, kitaip sakant, visa srovė J, kuri pasidalija tarp galvanometro ir šunto, atatiks šitą varžą. Pasižymėsime srovę, kuri tokiomis sąlygomis eina per galvanometrą, raide J_g. Tad žinodami, kad srovė pasidalija tarp dviejų šakų atvirkščiai proporcingai varžoms, mes turėsime: $\frac{J_g}{J} = \frac{g\,s}{s+g} : g = \frac{s}{s+g}$, iš to: $J_g = J.\ \frac{s}{s+g}$ arba $J = J_g.\ \frac{s+g}{s}$. Tegu galvanometro varža g yra n sykių didesnė kaip šunto varža s (g = ns). Tad $\frac{s+g}{s} = \frac{n+1}{1}$. Jeigu n bus lygus 9, 99, 999..., tai n + 1 bus lygus 10, 100, 1000... Kitaip sakant, paėmus šuntą, kurio varža sudaro tik $^1/_9$ galvanometro varžos, per galvanometrą eis $^1/_{10}$ dalis visos srovės, paėmus šuntą, kurio varža sudaro 99-tą dalį galvanometro varžos, per galvanometrą eis $^1/_{100}$ dalis visos varžos ir t. t. Taigi, turėdami šuntą ir išmatavę srovę galvanometru, mes surasime pagrindinio tinklo srovę, padauginę galvanometro srovę į 10, 100, 1000. Tuo būdu jautriu galvanometru, kuris duoda labai didelį atsilenkimą nuo $^1/_{1000}$ ampero, galima išmatuoti ir visas amperas.

Potencialų skirtumui arba elektrovaromajai jėgai matuoti vartojami įvairūs metodai, iš kurių aprašysime čionai tris. 181 piešinys atvaizduoja vieną iš paprasčiausių schemų šitam reikalui. Čia mes turime iš eilės sujungtus matuojamąją elektrovaromąją jėgą pavidalo elemento D, varžos magaziną R ir jautrų galvanometrą G. K yra vadinamas įjungiklis (arba išjungiklis). Jis susideda iš dviejų misinginių stulpelių, prie kurių sraigtais galima prijungti vielų galai. Tų stulpelių paviršiai iš vidaus išskaptuoti, taip kad jie sudaro skylę pavidalu nukirsto iš abiejų galų kūgio. Įdėję į šitą skylę atatinkamos formos štepselį mes uždarysime srovę, ištraukę štepselį — pertrauksime srovę. Vietoj tokio prietaiso galima pasinaudoti nedideliu stikliniu arba porceliniu puodeliu su gyvuoju sidabru. Įdėję vielos galus į gyvąjį sidabrą, mes uždarysime srovę, ištraukę vienos vielos galą pertrauksime srovę. Kur rūpi geras kontaktas, visuomet vartojama gyvojo sidabro kontaktai, nes gyvasai sidabras būdamas skystimas, jeigu jis tik švarus ir jeigu vielos galai švarūs, visuomet duoda puikiausį kontaktą. Pažymėsime elektrovaromąją jėgą elemento B raide E, ir tegu, uždarius srovę, tasai elementas duos galvanometro atsilenkimą s_1. Tad eidami Ohmo dėsniu mes turėsime: $J = \frac{E_1}{R+g+r_1} = K\,s_1$. Čia J reiškia srovę amperais, g — galvanometro varžą, r_1 — išvidinė elemento B varžą, R — magazino varžą ir pagaliau, K — galvanometro konstantą. Išjungsime dabar elementą B ir pakeisime jį elementu — standartu, kurio elektrovaromoji jėga yra žinoma ir pastovi. Yra du tokie elementai: Westono ir Clerko, ir apie juos kalbėsime vėliau. Dažnai elementu-standartu vartojamas jau mums žinomas Danielio elementas, kuris turi pakankamą nuolatinę elektrovaromąją jėgą, būtent 1,1 volto, arba akumuliatorius, apie kurį irgi kalbėsime kituose paragrafuose ir kurio elektrovaromoji jėga yra lygi 2 voltams, ir pasižymi pastovumu. Pažymėsime elektrovaromąją jėgą standarto raide E_2, jo išvidinę varžą raide r_2 ir galvanometro atsilenkimą raide s_2. Eidami Ohmo dėsniu mes turime: $J_2 = \frac{E_2}{R+G+r_2} = K\,s_2$.



180 pieš.

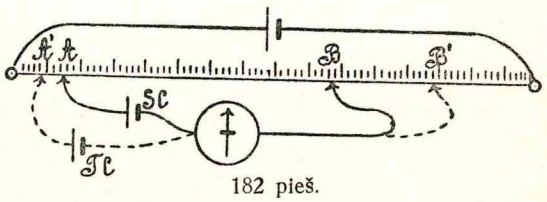


181 pieš.

Sakysime, kad išvidinė elemento B varža r_1 ir standarto varža r_2 yra labai mažos sulyginti su įjungta magazino varža R. Tad tos isvidinės varžos galima atmesti ir remiantis aukščiau duotomis dviem lygtimis bus gautas šitoks santykis tarp elektrovaromųjų jėgų: $\frac{E_1}{E_2} = \frac{J_1}{J_2} = \frac{S_1}{S_2}$, iš to: $E_1 = E_2 \cdot \frac{S_1}{S_2}$. Taigi, kad, apskaitant matuojamąją elektrovaromąją jėgą, galima būtų naudotis šituo santykiu, reikia turėti tinklas didelės varžos R sulyginti su išvidine elemento varža. Be to, reikia, kad galvanometro atsilenkimai būtų proporcingi srovėms. Jeigu to nėra, tai reikia surasti galvanometro kreivo kaip pasakyta 12 § ir, atskaičius galvanometro atsilenkimą, iš tos kreivos surasti atatinkama tam atsilenkimui srovė. Tada $E_1 = E_2 \frac{J_1}{J_2}$.

Aprašyto čia metodo variantas yra tas, kad, turint elementą B, tinkle nustatoma varža magazino R_1 tokia, kad būtų gautas galvanometre pakankamai didelis atsilenkimas. Dabar elementas B pakeičiamas standartu ir varža magazine keičiama tol, kol galvanometras duos tokį atsilenkimą, kaip ir nuo elemento B. Tegu tai bus prie magazino varžos R_2 Tad mes turėsime: $\frac{E_1}{R_1 + g + r_1} = \frac{E_2}{R_2 + g + r_2}$ arba $\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1 + g + r_1}{R_2 + g + r_2}$, arba pagaliau prileidus, kad galvanometro varža plius išvidinė elemento arba standarto varža yra maža sulyginti su magazino varža $\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1}{R_2}$, iš to: $E_1 = E_2 \frac{R_1}{R_2}$. Be to, čia visiškai nesiskaitoma su varža sujungimo vielų, kuri iš tikrųjų visuomet yra menkniekis sulyginti su magazino arba su galvanometro varža.

Iš to, kas čia pasakyta, aišku, kad šito metodo vartojimas yra apribotas, nes būna atsitikimų, kada elemento išvidinė varža siekia keliasdešimt ir net keleto šimtų ohmų, lygiai kaip ir kito kokio aparato, sakysime, dinamo mašinos varža ne visuomet yra menkniekis. Be to, norint gauti tikslesnių rezultatų, reikia, kad galvanometras duotų didesnių atsilenkimų, kitaip sakant, reikia matuoti elemento elektrovaromoji jėga duodant jam srovę. Kaip jau mes žinome, tokiomis sąlygomis elementas šiek tiek polarizuojasi, susidaro polarizacijos elektrovaromoji jėga, atkreipta prieš matuojamąją elektrovaromąją jėgą ir todel duodant elementui srovę jo elektrovaromoji jėga visuomet bus mažesnė, kaip nedirbant elementui, bus mažesnė net ir tada, kada elementas nesipolarizuoja. Iš tikrųjų pažymėję elemento išvidinę varžą raide r ir išorinę varžą raide R, be to, pažymėję jo elektrovaromąją jėgą raide E ir srovę raide i, eidami Ohmo dėsniu, mes turėsime: $E = ir + iR$, o matuosime $E - ir = iR$, nes dalis elektrovaromosios jėgos, būtent, ir bus suvartota srovei palaikyti elemento vidury. Taigi, norint tiksliai išmatuoti elemento elektrovaromąją jėgą, reikia tai atlikti neduodant elementui srovės. Tam tikslui vartojamas nulinis metodas arba kompensacijos metodas, kurio schemą atvaizduoja 182 piešinys. Mes čia turime ilgą vielą, ne mažiau kaip 1 metro ilgio, o geriau keleto metrų ilgio, kad tos vielos varža būtų pakankamai didelė. Viela ištempta išilgai škalos, padalytos į m/m. ir aprūpintos noniusu, kad galima būtų atskaityti milimetro dešimtąsias dalis. Prie šitos vielos galų prijungtas pastovus elementas, sakysime, akumulatorius. Taigi skaitant, kad sujungimo vielų varža yra menkniekis sulyginti su ištemptos išilgai škalos vielos, nuo vieno galo tos vielos ligi antrojo mes turėsime potencialų skirtumą, lygų akumulatoriaus elektrovaromajai jėgai E. Jeigu vielos ilgis m/m. yra lygus L, tad atsimenant vienodą vielos skerspjūvį per visą jos ilgį potencialo kritimas kiekvienam vielos m/m. bus tas pats, būtent $\frac{E}{L}$ voltų. Bet, kadangi naujai užtai-

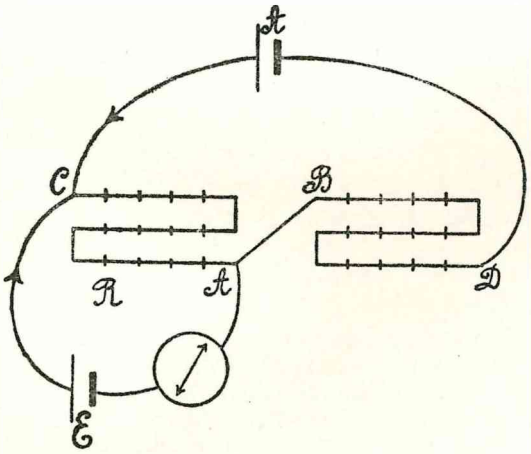


182 pieš.

syto akumulatoriaus elektrovaromoji jėga ir jau daugiau ar mažiau išlydyto nėra ta pati, kitaip sakant, kadangi akumulatoriaus elektrovaromoji jėga gali šiek tiek svyruoti, tad reikia potencialų kritimą vielos vieneto ilgiui (1 m/m.) nustatyti tiksliai, kitaip sakant, reikia sulyginti akumulatoriaus elektrovaromoji jėga su standarto elektrovaromąja jėga. Standartas SC prijungiamas su pagalba dviejų kontaktų A ir B prie tos pačios vielos kaip ir akumulatorius tik taip, kad + standarto polis būtų ant to paties vielos galo kaip ir akumulatoriaus vielos polis, kitaip sakant, standartas ir akumulatorius turi būti prijungti vienas prieš antrąjį. Pagaliau standarto šakoje turi būti jautrus galvanometras (žiūr. 182 piež.). Jeigu potencialo kritimas nuo A ligi B nuo akumulatoriaus bus didesnis, kaip potencialo kritimas ant tos pačios vielos atkarpos AB nuo standarto, tad srovė eis per galvanometrą viena kryptimi ir galvanometras atsilenks į vieną pusę. Jeigu standarto elektrovaromoji jėga bus didesnė kaip potencialo kritimas nuo A ligi B nuo akumulatoriaus, srovė eis per galvanometrą kita kryptimi ir galvanometras atsilenks į antrą pusę. Taigi aišku, kad keisdami ant vielos kontaktų A ir B būklę mes visuomet surasime tokią padėtį, kurioj potencialo kritimas nuo A ligi B nuo akumulatoriaus bus lygus standarto elektrovaromajai jėgai. Tada standarto elektrovaromoji jėga bus kompensuota potencialo kritimu nuo A ligi B ir galvanometras neatsilenks. Todel tad šitas metodas vadinasi kompensacijos metodu arba nuliniu metodu. Tegu standarto elektrovaromoji jėga bus E_n ir tegu ilgis vielos tarp A ir B, pasiekus nulinę padėtį, bus 1 m/m. Tad tikras potencialo kritimas, skaitant 1-am m/m. vielos, bus $\frac{E_n}{l}$ voltų.

Išjungsime dabar elementą — standartą SC ir jo vietoj įvesime matuojamąjį elementą TC, prijungę jį taip, kad jo elektrovaromoji jėga būtų atkreipta prieš akumulatoriaus elektrovaromąją jėgą. Keisdami kontaktų A ir B būkles surasime tokią padėtį A^1 B^1, prie kurios matuojamasis elementas bus kompensuotas. Tegu ilgis vielos tarp A^1 ir B^1 bus l^1. Tad aišku, kad bandomojo elemento TC elektrovaromoji jėga $E_T = E_n \frac{l^1}{l}$ voltų.

Aprašytas čia metodas yra visų tiksliausias ir visuomet vartojamas, kada reikia gauti labai tikslių rezultatų. Kadangi matuojamas elementas čionai kompensuojamas, tai, pasiekus pusiausvyrą visiškai neina srovė nei per jungiančias vielas nei per galvanometrą, nei per patį elementą. Vadinasi, polarizacijos čia nėra ir neturi jokios reikšmės nei išvidinė varža elemento, nei varža galvanometro, nei varža jungiančių vielų. Sakysime, standarto elementas su išvidine varža 600 ohmų čia galima drąsiai lyginti su tokiu elementu, kurio varža sudaro tik ohmo trupmeną, vartojant prijungimo vielas net kelių kilometrų ilgio. Svarbu tiktai, kad galvanometras būtų jautrus. Vietoj ištemptos ilgos vielos vienodo diametro per visą ilgį geriau vartoti varžos dėžė su visa varža ligi 10.000 arba 100.000 ohmų ir su padalijimais ligi $^1/_{10}$ ir net $^1/_{100}$ dalies ohmo. Aparatas, sudarytas iš tokios varžos dėžės ir galvanometro su prietaisais prijungti akumulatoriui, standartui ir matuojamam elementui, vadinasi potenciometras. Iš 182 piešinio schemos aišku, kad elektrovaromoji jėga, prijungta prie galų visos varžos, turi būti didesnė, kaip matuojamoji elektrovaromoji jėga.



183 pieš.

Dažnai laboratorijose patogu vartoti kompensacijos metodas tos schemos, kurią atvaizduoja 183 piešinys. Čia mes turime dvi lygias varžos dėžes RR, sujungtas iš eilės.

Kiekvienos dėžės varža, sakysime, 5000 ohmų, o abiejų dėžių varža 10.000 ohmų. Akumulatorius A prijungtas prie galų CD visos varžos, o matuojamasai elementas E ir galvanometras prijungti su pagalba augščiau aprašyto įjungiklio arba raktuko prie galų C ir A vienos dėžės, kaip rodo 183 piešinys. Prieš pradedant dirbti, sakysime, iš dėžės BD ištraukiami visi štepseliai ir dėžėje CA paliekami visi štepseliai. Kompensacija atliekama tokiu būdu, kad nuosakiai štepseliai išimami iš dėžės CA ir įkišami į atatinkamas skyles dėžės BD. Tegu matuojant elektrovaromąją jėgą E_1 elemento teko ištraukti iš dėžės CA ir įkišti į dėžę BD tiek štepselių, kad dėžėje CA buvo įvesta varža R_1. Bet pakeitus matuojamąjį elementą standartu elektrovaromosios jėgos E. kompensacija buvo pesiekta tada, kada dėžėje CA buvo varža R. Tad $\frac{E_1}{E} = \frac{R_1}{R}$ ir $E_1 = E.\frac{R_1}{R}$.

Pagaliau, šituo kompensacijos metodu galima matuoti ir didelės elektrovaromosios jėgos, sakysime, 110 arba 220 voltų (elektrovaromoji jėga šviesos magistralių). Tada reikia tik magistralių galai prijungti prie didelės varžos, sakysime, 10000 ohmų. Paimsime ant tos varžos du taškus, tarp kurių varža yra lygi, sakysime, 100 ohmų. Jeigu potencialų skirtumas tarp magistralių yra lygus 120 voltų, tada potencialo kritimas skaitant 1 ohmui, bus $\frac{120}{10000}$, o skaitant 100 ohmų bus $\frac{120.\ 100}{10000} = 1{,}2$ voltų. Taigi nuo šitų taškų, tarp kurių varža yra lygi 100 ohmų, ištiesime vielas ligi potenciometro ir jau augščiau nurodytu būdu išmatuosime tarp tų taškų potencialo kritimą, sulyginę tą potencialo kritimą su standarto elektrovaromąja jėga. Išmatavę šitą potencialo kritimą, mes žinosime, kad jis sudaro $^1/_{100}$ dalį potencialų skirtumo tarp šviesos tinklo magistralių. Taigi, šituo metodu galima išmatuoti elektrovaromoji jėga nuo $^1/_{10}$ milivolto ($^1/_{10000}$ dalis volto) ligi keleto šimtų voltų. Uždarius, sakysime, akumulatorių (2 voltai) varža 20000 ohmų, potencialo kritimas kiekvienam ohmui bus $^1/_{10000}$ volto dalis.

Potenciometrą galima vartoti ne tiktai elektrovaromosios jėgos matavimams, bet ir elektros varžos ir elektros srovių matavimams. Nesunku, reikalui atsitikus, pačiam suvokti remiantis tuo, kas čia išdėstyta, kaip potenciometru išmatuoti elektros varža arba srovė. Be to, varžos ir srovės matavimų metodai su pagalba potenciometro išdėstyti kiekvienam vadovėly, kuris kalba apie laboratorijos darbus.

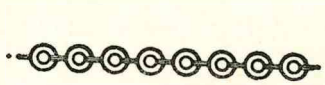
Išmatuoti elektrovaromoji jėga elemento, jam nedirbant, galima dar prijungus jo polius prie kondensatoriaus talpumo C pamušalų ir išlydžius paskui kondensatorių per balistinį galvanometrą. Tegu matuojamo elemento elektrovaromoji jėga bus X. Tad elektros kiekis, išlydytas per galvanometrą, bus CX ir duos, sakysime, pirmąjį galvanometro atsilenkimą s_1. Prijungsime dabar prie kondensatoriaus pamušalų standartą elektrovaromosios jėgos E ir išlydysime kondensatorių per balistinį galvanometrą. Dabar per balistinį galvanometrą bus išlydyta elektros kiekis CE ir duos pirmąjį atsilenkimą s_2. Taigi mes turėsime: $\frac{CX}{CE} = \frac{X}{E} = \frac{S_1}{S_2}$, o iš to: $X = E.\frac{S_1}{S_2}$.

Pagaliau elektrovaromoji jėga arba potencialų skirtumas galima išmatuoti elementui nedirbant ir Thomsono kvadrantų elektrometru, kaip jau aprašyta 8 §.

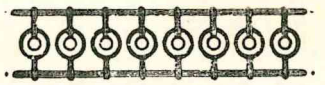
Didesnei elektrovaromajai jėgai arba stipresnei elektros srovei gauti galvaniniai elementai jungiami tarp savęs įvairiais būdais, sudarant iš jų galvanines batarejas (taip pat jungiami ir akumuliatoriai). 11 § trumpai aprašytas sujungimas elementų iš eilės arba serija, kurį sujungimo būdą schematiškai atvaizduoja 184 piešinys. Čia + polis kiekvieno elemento atvaizduotas išoriniu didesniu ratuku, o — polis išvidiniu mažesniu ratuku. — polis pirmojo elemento sujungtas su + poliu antrojo, — polis antrojo su + poliu trečiojo ir t. t., taip kad pasilieka laisvas + polis pirmojo elemento ir — polis paskutinio elemento. Kaip jau mes matėme 11 §, elektrovaromoji jėga taip sujungtų elementų bus n sykių didesnė kaip elektrovaromoji jėga vieno elemento, jeigu batareja sudaryta iš n elementų. Bet užtat ir išvidinė varža tokios batarejos bus n sykių didesnė, kaip vieno

elemento varža. Taigi pažymėję elektrovaromąją jėgą vieno elemento raide E, išvidinę varžą raide r ir sujungę kraštutinius batarejos polius viela varžos R (išorinė varža), einant Ohmo dėsniu, mes turėsim: $I=\frac{n.E}{nr+R}$. Kada išorinė varža R yra maža sulyginus su išvidine varža visų elementų nr, tada srovė $I=\frac{n.E}{nr}=\frac{E}{r}$, vadinasi, tokio pat stiprumo kaip nuo vieno elemento. Taigi aišku, kad sujungimas elementų iš eilės, arba serija, yra naudingas tik tais atvejais, kada išorinė varža yra didelė sulyginti su išvidine varža, nes tada srovė nuo batarejos bus n sykių didesnė kaip nuo vieno elemento, kaip matyti iš lygties $I=\frac{n.E}{nr+R}$, kuri atmetus nr virsta lygtimi $I=\frac{n.E}{R}$.

185 piešinys atvaizduoja kitą elementų sujungimo būdą, sudarant galvaninę batareją. Čia visi teigiami poliai sujungti tarp savęs (prijungti prie vieno laidininko). Taip pat ir visi neigiami poliai. Toksai elementų sujungimas vadinasi lygiagrečiu sujungimu. 11 § pasakyta, kad elektrovaromoji jėga galvanimio elemento visiškai nepareina nuo to elemento didumo. Ar mes paimsime du metalus plonų vielų pavidalo su rūgštimi bandymo vamzdelyje, ar pavidalu dviejų lapų dideliam inde, elektrovaromoji jėga ir vienu ir antru atveju bus ta pati. Bet užtat išvidinė galvaninio elemento varža pirmuoju atveju bus didesnė kaip antruoju atveju, nes ta išvidinė varža yra lygi $r_0\frac{l}{q}$. Čia r_0 reiškia skystimo lyginamąją varžą, l reiškia atokumą tarp dviejų elektrodų, o q reiškia skystimo skerspjūvį tarp dviejų elektrodų, kuris skerspiūvis yra lygus elektrodo plotui. Kadangi turint elektrodus didesnio ploto ir skysto laidininko skerspjūvis bus atatinkamai didesnis, tai išvidinė varža, kaipo atvirkščiai proporcinga skerpjūvio plotui, bus atatinkamai mažesnė elemente su elektrodais pavidalu lapų, kaip elemente su eletrodais vielų pavidalu prie to paties atokumo tarp elektrodų. Jungdami elementus lygiagrečiai (žiūr. 185 piež.) mes iš visų teigiamų elektrodų sudarome vieną teigiamą elektrodą n sykių didesnio ploto, taip pat iš visų neigiamų elektrodų sudarome vieną neigiamą elektrodą n sykių didesnio ploto. Taigi elektrovaromoji jėga sujungtų tokiu būdu elektrodų bus tokia pati kaip ir vieno elemento, būtent E. Užtat išvidinė varža sujungtų tokiu būdu elementų bus n sykių mažesnė kaip išvidinė varža vieno elemento, t. y. bus $\frac{r}{n}$. Sujungę abidvi magistrales + ir — (arba abudu laidininkus, prie kurių prijungti + ir — elementų poliai) laidininku varžos R (išorinė varža) mes, einant Ohmo dėsniu, turėsime:



184 pieš.



185 pieš.

$$I=\frac{E}{\frac{r}{n}+R}=\frac{nE}{r+nR}.$$

Aišku, kad srovės atžvilgiu mes nieko nelaimėsime jungdami elementus lygiagrečiai, kada išvidinė varža bus maža sulyginti su išorine varža, nes tuo atveju $I=\frac{nE}{nR}=\frac{E}{R}$, tai yra nuo vieno elemento srovė bus toki pat, kaip ir nuo n elementų, sujungtų lygiagrečiai. Bet šitas sujungimo būdas visuomet naudingas, kada išvidinė elemento varža yra didelė sulyginti su išorine varža, nes tada mes turėsime $I=\frac{nE}{r}$, tai yra srovė bus n sykių didesnė nuo batarejos kaip nuo vieno elemento.

Atsimenant tai visa, kai kada tenka jungti elementai maišytu būdu, būtent padalijus visus elementus į keletą grupių. Grupėse elementai jungiami iš eilės, o jau grupės

jungiamos tarp savęs lygiagrečiai, arba atbulai. Tegu mes turime N galvaninių elementų elektrovaromosios jėgos e ir išvidinės varžos r ir tegu varža tinklo, kuris reikia penėti iš batarejos, bus R (išorinė varža). Sudarysime iš visų tų elementų grupes po n elementų kiekvienoje grupėje ir sujungsime elementus grupėse iš eilės. Tad kiekvienos grupės elektrovaromoji jėga bus n e ir išvidinė varža n r. Tokių grupių iš viso mes turėsime $\frac{N}{n}$. Sujungsime visas tas grupes tarp savęs lygiagrečiai. Sudarant tokiu maišytu būdu batareją, elektrovaromoji jėga remiantis tuo, kas augščiau pasakyta, bus n e, o išvidinė varža bus $n\,r:\frac{N}{n}=\frac{n^2r}{N}$. Prijungę tos batarejos polius prie tinklo varžos R, mes, eidami Ohmo dėsniu, turėsime srovę $i=\frac{ne}{\frac{n^2r}{N}+R}=\frac{Nen}{n^2r+NR}$.

Kad išspręstume klausimą, kuriomis sąlygomis mes turėsime maximum srovės jungdami elementus čia nurodytu maišytu būdu, diferencijuojame šitą lygtį, atsimindami, kad N (duotas elementų skaičius), e (elektrovaromoji elemento jėga), r (išvidinė elemento varža) ir R (išorinė varža) yra nuolatini dydžiai, o kintamieji dydžiai čia yra elementų skaičius grupėje n, kurį mes galime parinkti savo nuožiūra, ir pareinanti nuo to skaičiaus n srovė i. Atlikę diferenciją ir padaliję abidvi diferencines lygties puses iš dn mes gausime:

$$\frac{di}{dn}=\frac{(n^2r+NR)\,Ne-Ne\,.\,2n^2r}{(n^2r+NR)^2}.$$

Srovė bus maximum, kada $\frac{di}{dn}=0$, t. y. kada $(n^2r+NR)\,Ne=Ne\,.\,2n^2r$, arba kada $NR=n^2r$, arba kada $R=\frac{n^2r}{N}$. Bet $\frac{n^2r}{N}$ yra išvidinė batarejos varža. Tai reiškia, kad mes, norėdami gauti maximum srovės, privalome taip sujungti elementus į batareją, kad išvidinė batarejos varža būtų lygi tinklo varžai (išorinei varžai). Šita išvada liečia ne tik sujungimą elementų į batareją maišytu būdu, bet ir sujungimą iš eilės ir lygiagrečiai.

14 §. Elektros srovės energija. Termiški srovės efektai. Joulio dėsnis. Voltos lankas (elektros lankas). Elektros šviesa. Kaitinimo lemputės ir lanko lempos. Elektriškas šildymas ir kaitinimas. Elektros krosnys. Elektrometalurgija. Termoelementai. Pirometras Le-Chatelier. Peltier'o ir Thomsono efektai. Termomagnetinis ir galvanomagnetinis efektai.

Didelis elektros energijos patogumas yra tas, kad, kaip jau mes matėme, ji lengva padalyti bet kuriam laidininkų tinkle ir su pagalba laidininkų perduoti iš gaminimo vietos į atokumą. Einant elektros srovei per laidininkus mes turime visą eilę efektų: magnetinių, termiškų, arba šilimos, šviesos ir chemiškų. Apie srovės magnetinį lauką jau buvo kalbėta 12 §. Čionai mes tirsime srovės šilimos efektus. Bet visų pirma duosime formulą srovės energijai. Mes jau žinome, kad elektros kiekis e galima pakelti nuo potencialo V_2 ligi potencialo V_1 tik atlikus darbą e $(V_1 - V_2)$ ergų. Kitaip sakant, elektros kiekis e, slinkdamas nuo patencialo V_1 ligi potencialo V_2 atlieka darbą. Jeigu mes paimsime elektros kiekio vienetą ir parinksime tokį potencialų skirtumą, kad sandauga iš to potencialų skirtumo ir elektros vieneto duotų 1 ergą, tai tasai potencialų skirtumas bus potencialo vienetas. Kaip jau mes matėmę, $^1/_{300}$ dalis tokio potencialo vieneto (arba potencialų skirtumo vieneto) yra 1 voltas. Čia mes kalbame apie elektrostatinius vienetus. Bet jau mes žinome, kad galima naudotis ir elektromagnetiniais vienetais. Mes jau matėme 12 §, kad elektromagnetinis elektros vienetas yra lygus

10 amperų per sekundą. Kituose paragrafuose mes pamatysime, kad potencialų skirtumo arba elektrovaromosios jėgos elektromagnetinis vienetas susidaro tada, kada laidininkas, slinkdamas lauke statmenai tam laukui, perkerta per 1 sekundą vienetą jėgų linijų arba jėgų vamzdelių. Pasirodo, kad 10^8 tokių elektromagnetinių potencialo vienetų sudaro 1 voltą, kuris, kaip jau pasakyta, yra lygus $^1/_{300}$ daliai elektrostatinio potencialo vieneto. Bet ir pakeliant elektromagnetinį elektros vienetą elektromagnetiniu potencialo vienetu teks atlikti irgi 1 ergas darbo (kitaip sakant, 1 weberis x elektromagnetinis potencialo vienetas = 1 ergui).

Kada per laidininko skerspjūvį bet kurioje vietoje per 1 sekundą pereina 1 kulonas elektros, tai srovės stiprumas tame laidininke yra lygus 1 amperui. Tai reiškia, kad 1 kulonas = 1 amper. × 1 sek. = 10^{-1} elektromagnetinių vienetų ir 1 amper × 1 voltą = $10^{-1} \times 10^8 = 10^7$ ergų = 1 joulis (skaityk „džaulis“).

Kada mašina atlieka per 1 sekundą 1 joulį darbo, mes sakome, kad mašinos galia yra lygi 1 wattui. Tai reiškia, kad wattai × sekund. = jouliai = voltai × amperai.

Mokant už elektros šviesą arba už elektros energiją kitaip suvartotą visuomet mokama už kilowatvalandas. Vienas kilowat. = 1000 wattų. Tai yra apie $1^1/_8$ arklio jėgos, nes arklio jėga yra lygi 746 wattų. Taigi 1 kilowatvalanda yra lygi $1000 \times 60 \times 60 = 3600000$ joulių.

Jeigu per laidininką eina srovė J prie potencialų skirtumo (elektrovaromosios jėgos) ant laidininko galų E, tai srovės energija bus JE voltamperų per 1 sekundą. Kada ta srovė tęsiasi t sekundų, tai srovės energija bus J. E. t joulių arba žinant, kad E = J. R (Ohmo dėsnis) J^2 R t joulių. Einant srovei per laidininką laidininkas įkaista, vadinasi, srovės energija virsta šilima. Pažymėsime šitą šilimos kiekį raide Q. Einant energijos išlaikymo dėsniu šitas šilimos kiekis turi būti lygus augščiau apskaitytai srovės energijai. Taigi žinant, kad 1 maža kalorija yra lygi 4,2 joulių mes turėsime: $Q = \frac{J^2Rt}{4,2}$ cal. = 0,24 J^2Rt.

Parašyta čia lygtis yra ne kas kita, kaip garsus Joulio dėsnis, nustatytas jo 1842-1843 metais, kada jis rūpinosi mechaninio šilimos ekvivalento nustatymu. Ta proga jis bandymais nustatė santykius tarp elektros energijos ir šilimos energijos ir eidamas tais bandymais paskelbė minėtą dėsnį. Žodžiu šitą dėsnį galime išreikšti šitaip: einant elektros srovei per laidininką, susidaręs šilimos kiekis yra tiesiog proporcingas kvadratui srovės, laidininko varžai ir laikui.

Pažiūrėsime, ligi kokios temperatūros bus įkaitinta termiškai gerai izoliuota platinos viela 10 cm. ilgio ir 1 mm. diametro, leidžiant per tą vielą srovę 20 amperų per 1 minutę. Platinos lyginamoji varža yra lygi 0,11,10^{-4} ohmų. Tad paimtos platinos vielos varža bus $0,11.10^{-4}$. $\frac{10}{3,14.0,0025} = 0,014$ ohmų. Einant Joulio dėsniu srovė 20 amperų per 60 sekundų sudarys šitokį šilimos kiekį: 0,24 $(20)^2$. 0,014.60 = 80,64 kalorijų.

Paimtos platinos tūris yra 10.3,14.0, 0025 = 0,0785 $cm.^3$. Platinos lyginamasai svoris 21,4. Tad paimtos vielos masė 0,0785.21,4 = 1,68 gramų. Platinos lyginamoji šilima 0,032. Tad paimtos platinos vielos šilimos talpumas bus 0,032.1,68 = 0,05376 kalorijų. Vadinasi, tiek kalorijų reikalinga suteikti platinos vielai, kad jos temperatūra pakiltų 1°. Kadangi platinai suteikta srovės iš viso 80,64 kalorijos, tai platinos vielos temperatūra pakils $\frac{80,64}{0,05376} = 1500°$. Leidžiant elektros srovę per platinos vielą ore temperatūros pakilimas bus kiek mažesnis del šilimos nuostolių per konvekciją, bet visgi temperatūra pakils augščiau 1000°, vadinasi, platina įkais ligi baltos šviesos. Leisdami tą pačią srovę per plonesnę platinos vielą gausime dar didesnį šilimos efektą ir platinos viela ne tik įkais ligi baltos šviesos, bet gali ir sutirpti. Taigi Joulio dėsnis padeda iš anksto apskaityti šilimos efektą, taikant elektros energiją kaitinimui ir švietimui, nes pakankamai įkaitintas laidininkas darosi šviesos ištekliu ir juo stipresniu, juo augštesnė to ištekliaus absoliutinė temperatūra (žiūr. Stefano dėsnį, „Šviesos“ skyr. 276 pusl. kuris

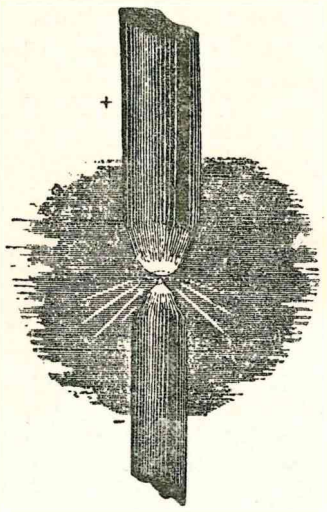
sako, kad visa įkaitinto kūno radiacijos energija yra proporcinga ketvirtam laipsniui absoliutinės temperatūros). Paprastai kada srovė eina per laidininką, srovės energija išsisklaido kaipo šilima. Joulio dėsnis, kuris sudaro pagrindą elektriškam kaitinimui ir švietimui, nustato santykį tarp srovės energijos ir šilimos.

Kitokios rūšies srovės šilimos efektą, skirtingą nuo Joulio efekto, pastebėjo dar 1821 metais garsus Anglijos chemikas Humphry Davy. Mes vėliau pamatysime, kad pertraukiant srovę tinkle pertraukimo vietoje susidaro kibirkštis. Davy bandė kibirkštį tarp dviejų elektrodų iš anglies (kieta retortų anglis). Jis turėjo galvaninę bateriją iš 40 elementų, sujungtų iš eilės, ir prijungęs vielomis prie batarejos polių du stiebus iš anglies. Sudarant tarp tų stiebų galų kontaktą, srovė bus uždaryta. Padaręs mažutį tarpą tarp anglių galų, Davy pastebėjo labai smarkią šviesą tarp jų, kuri tęsėsi neapribotą laiką, jeigu tik tarpas tarp anglių galų buvo neperdidelis ir buvo palaikomas tam tikro didumo visą laiką pamaži nuosakiai artinant anglis viena prie antros. Pakankamai padidinus šitą tarpą šviesa išnyko. Davy konstatavo, kad reikia turėti bent 36 Voltos elementai, kad susidarytų aprašytas čia efektas, t. y. reikia turėti įtempimas bent 36 voltų. Imant vietoj anglies kitą medžiagą, sakysime metalus, tasai įtempimas mažesnis ir svyruoja tarp 5 ir 36 voltų.

Turint didesnį įtempimą ir stipresnę srovę skaidriai šviečianti liepsna tarp anglių galų būna ilgesnė ir prie gulsčios anglies elektrodų būklės išsigaubia augštyn. Todel šitas fenomenas buvo pavadintas elektros lanku arba, einant Davy, kuris norėjo pagerbti Voltą, Voltos lanku. Šitas fenomenas yra tokios pat kilmės kaip ir elektros kibirkštis. Kaip mes žinome, elektros kibirkštis pramuša oro sluogsnį tarp dviejų konduktorių, kada randasi pakankamo įtempimo tarp tų konduktorių. Einant naujausiomis pažiūromis įtempimas tarp dviejų konduktorių ionizuoja orą ir juo smarkiau, juo tas įtempimas didesnis, o ionizuotas oras yra elektros laidininkas, ir juo geresnis, juo smarkiau jis ionizuotas. Taigi esant pakankamam įtempimui tarp dviejų konduktorių, oras tarp jų darosi laidininku ir įtempimas išsilygina kibirkšties pavidalu.

Šiandien mes žinome, kad oras gali būti ionizuotas įkaitintų laidininkų paviršiais, nes įkaitintų metalų paviršiai išmeta elektronus (neigiamos elektros atomus), kurie ionizuoja orą. Suvedę dviejų anglies stiebų galus, mes turėsime kontaktą tarp anglių tik atskiruose taškuose. Todel elektros varža tokioje kontakto vietoje bus didelė ir einant Joulio dėsniu kontakto vietoje susidarys daugiau šilimos ir temperatūra pakils augščiau, kaip kitose laidininko vietose. Tolinant anglies stiebus vienas nuo antrojo kontaktas ne iš karto bus panaikintas, bet tik bus sumažintas kontakto paviršius, kitaip sakant, bus padidinta varža ir, kaipo išdava, ėmus tolintis anglies stiebams vienas nuo antro, temperatūra kontakto vietoje pakils dar smarkiau. Pagaliau, kituose paragrafuose mes pamatysime, kad pertraukiant srovę laidininke susidaro elektrovaromoji jėga, kuri stengiasi palaikyti srovę ta pačia kryptimi, kuria srovė ėjo (indukcijos elektrovaromoji jėga). Tai reiškia, kad, pertraukiant srovę, ir jau pertraukus ją, labai trumpą laiką tęsiasi žymiai stipresnė srovė, kaip tada, kada laidininkas nepertrauktas. Taigi, Joulio efektas nuo didelės varžos blogo kontakto vietoje bus dar sustiprintas panaikinant šitą kontaktą. Visa tai veda prie žymaus temperatūros pakilimo ant anglies stiebų galų ir, kaipo išdava, prie emisijos elektronų, ypatingai iš anglies stiebo galo, kuris buvo sujungtas su batarejos neigiamu poliu. Šitie elektronai smarkiai ionizuoja orą ir todel, padarius tarpą tarp anglies stiebų, elektros išlydis, vadinamas elektros srove, tęsiasi per orą tarp anglies stiebų galų. Einant naujausiomis pažiūromis ypatingai gausiai išmetami iš neigiamos anglies elektronai bombarduoja teigiamos anglies galą, ir todel tasai galas ypatingai smarkiai įkaitintas. Smarkiausi šviesa žeria iš teigiamos anglies galo. Neigiamos anglies galas tamsesnis kaip teigiamos anglies galas ir liepsna tarp anglių irgi tamsesnė (žiūr. 186 pieš.). Teigiamos anglies galo temperatūra gali pasiekti 4000°, t. y. jau augščiau anglies ne tik tirpimo, bet ir virimo temperatūros. Todel liepsna tarp abiejų anglių galų susideda iš smarkiai įkaitintų anglies garų, oro ir nutrauktų nuo teigiamos anglies kietų anglies dalelių, kurios yra priežastimi pačios liepsnos šviesos. Anglies garai ir anglies dalelės kontakte su oru prie augštos temperatūros sudega, ir todel veikiant Voltos lankui abidvi anglys eikvo-

jamos, bet teigiama anglis eikvojasi dusyk smarkiau, kaip neigiama. Kitaip sakant, veikiant Voltos lankui tarpas tarp anglių galų didėja, Voltos lankas didėja, ir pagaliau pakankamai padidėjus tam tarpui Voltos lankas nutrūksta. Taigi, kad lankas nenutrūktų, reikia arba ranka palaikyti tam tikrą atokumą tarp anglių galų, kuris atokumas bus juo didesnis, juo stipresnė srovė, arba aprūpinti tokį Voltos lanką tam tikru elektromagnetiniu įrankiu, kuris automatiškai reguliuos Voltos lanką, kitaip sakant, palaikys tam tikrą atokumą tarp anglių galų. Kadangi teigiamos anglies galas turi ypatingai augštą temperatūrą ir eikvojasi ypatingai smarkiai, tai ant to galo visuomet susidaro duobė, vadinamas krateras, tuo tarpu neigiamos anglies galas būna aštrus todel, kad jis nudega smarkiau periferijoj ir, be to, ant paties jo galo susitaupo anglies dalelės, nudrėkstos srovės nuo teigiamos anglies galo. Teigiamos anglies krateris ir yra ištekliu didžiausio karščio ir smarkiausios šviesos. Taigi, sudarant Voltos lanką, imama anglies nevienodo diametro, būtent, teigiama anglis visuomet turi bent dusyk didesnį diametrą kaip neigiama anglis del augščiau nurodytų priežasčių.

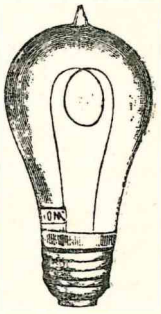


186 pieš.

Iš viso to, kas čia trumpai pasakyta apie elektros lanko susidarymą, matyti, kad tai yra gan painus fenomenas. Čia mes turime ir Joulio efektą, ir elektronų emisiją nuo įkaitintų laidininkų paviršiaus, ir elektros konvekciją ionais (apie šitą elektros judėjimo būdą mes kalbėsime kitame paragrafe). Kad karštas neigiamos anglies galas yra svarbiausias elektronų išteklius, kurie ionizuoja orą ir tokiu būdu sudaro Voltos lanką, išeina iš to fakto, kad pertraukus Voltos lanką trumpam laikui, sakysime 1 sekundai, nėra reikalo suvesti vėl anglių galus, kad iš naujo vėl būtų sudarytas Voltos lankas, o pakanka tik priartinti neigiamos anglies galą ligi tam tikro atokumo nuo teigiamos anglies galo. Del ionų judėjimo Voltos lanke jis yra panašus į lankstų judomąjį laidininką, ir todel magnetu galima atlenkti Voltos lankas į tą ar kitą pusę (išgaubti Voltos lankas į tą ar kitą pusę), nelyginant kaip magnetu galima atlenkti arba išlenkti laidininkas, per kurį eina elektros srovė. Stiprinant srovę Voltos lankas ima šnypšti ir kelia triukšmo. Lanko liepsna išsigaubia ir ima suktis apie anglių galus smarkiai juos degindama. Aplamai Voltos lankas yra labai jautrus mažiausiems srovės svyravimams, ir šita jo ypatybe remiasi vadinamas kalbamasis arba dainuojamasis Voltos lankas, kuriuo galima pasinaudoti, norint perduoti kalbą arba, aplamai, garsus iš vienos vietos į kitą.

Elektros apšvietimas ir elektriškas kaitinimas, kurie įgyja vis didesnės ir didesnės reikšmės, remiasi tiek Joulio efektu, tiek ir Voltos lanku. Joulio efektu remiasi vadinamos kaitinamosios lemputės. Tokią lemputę atvaizduoja 187 piešinys. Iš pradžios kaitinamoji lemputė turėjo labai ploną platinos vielą, — karščio ir šviesos šaltinį. Leidžiant per tokią vielą elektros srovę del jos didelės varžos galima ji įkaitinti ligi 1500 — 1600° (vadinasi, kokiu 100° žemiau kaip platinos tirpimo temperatūra). Tada platinos viela žeria balta šviesa. Kad būtų sumažintas nuostolis del šilimos konvekcijos, toki viela padėta stiklo rutuly arba stiklo kriaušėje, iš kurios pašalintas oras. Kriaušė turi apačioje metalinę movą ir vienas vielos galas prijungtas prie tos movos. Apatinis movos galas aklai uždarytas izoliuojama medžiaga, kurios apačia yra apklota metaline apskrita plokštele. Antrasai platinos vielos galas prijungtas prie tos plokštelės. Mova išorėj turi įbrėžtą sraigto lataką ir gali būti įsukta į patroną, kuris piešinyje neatvaizduotas. Patrono dugnas metalinis, prijungtas prie vieno batarejos polio, o izoliuota nuo dugno patrono muterka prijungta prie kito batarejos polio. Taigi, įsukus lempą į patroną srovė eis per platinos vielą, įkaitins ją ir duos šviesą. Šiandien batarejos nebeturi reikšmės kaipo elektros energijos ištekliai. Elektros energiją gamina dinamo mošinos ir lempos patrono dugnas ir muterka prijungiami prie magistralių, einančių nuo dinamo mašinos polių. Einant Stefano dėsniu radiacijos energija yra

proporcinga ketvirtajam laipsniui temperatūros. Tai reiškia, kad mes turėsime juo daugiau šviesos, juo augštesnė bus temperatūra. Kaip jau mes žinome iš šviesos mokslo, sulyginti labai maža visos radiacijos energijos dalis reiškiasi šviesa, geriausiu atsitikimu apie 1%. Bet tasai procentas, kitaip sakant lempos naudingumo koeficientas, bus juo didesnis, juo augštesnė bus temperatūra. Antra vertus, kelti temperatūra galima tik ligi medžiagos tirpimo temperatūros. Kalbamuoju atveju ligi platinos tirpimo temperatūros, t.y. ligi 1700°. Noras turėti elektros lempučių didesnio naudingumo koeficiento, t.y. duodančių daugiau šviesos, privertė savamokslį išradėją amerikietį Edisoną pakeisti elektros lemputėse platinos vielą anglies viela, nes anglies tirpimo temperatūra yra daug augštesnė kaip platinos tirpimo temperatūra ir, vadinasi, anglies siūlas arba anglies viela galima įkaitinti ligi daug augštesnės temperatūros, kaip platinos viela.



187 pieš.

Ploni anglies siūlai kaitinamosioms lemputėms gaminami iš chemiškai tyros celulozos. Pluoštai iš celulozos kaitinami anglies vandenilių garuose (C_nH_{2n}), palaikant tą kaitinimo laipsnį, kuris charakterizuojasi raudona spalva. Tokiomis sąlygomis celuloza karbonizuojama, t.y. celulozos pluoštas virsta anglies pluoštu ir, be to, dar apsivelka plonu grafito sluogsniu, kuris susidaro del skilimo garų anglies vandenilių. Kaitinamoji lemputė su anglies siūlu vartoja apie 55 wattus elektros energijos 16 žvakių, t.y. prie įtempimo 110 voltų per siūlą eina 0,5 ampero srovė. Siūlo varža yra lygi 220 ohmų.

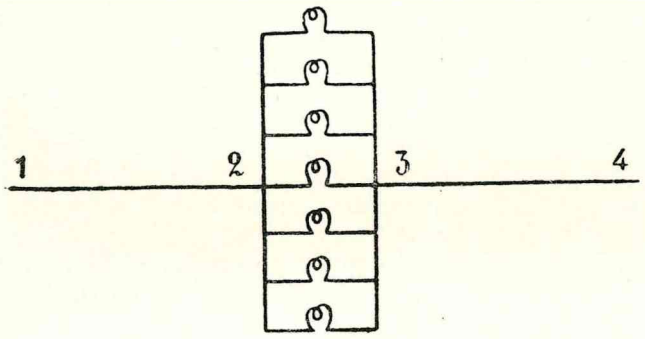
Pastaraisiais laikais anglies lemputės yra išstumtos lemputėmis su vielomis iš retų ir brangių metalų, kaip tantalas, wolframas, osmis, kurie tirpsta kaip ir anglis prie labai augštos temperatūros, bet ilgiau gali išlaikyti augštą temperatūrą kaip anglis, kuris smarkiau sublimuoja prie augštų temperatūrų, kaip minėti metalai, nepaisant to, kad anglies tirpimo temperatūra yra augštesnė, kaip minėtų metalų temperatūra. Tokios metalinės lemputės vartoja pusę tos energijos, kurią vartoja anglies lemputės, vadinasi, jos yra ekonomingesnės, nes duoda ekonomijos energijos atžvilgiu apie 50%. Tiesa, jos ir žymiai brangesnės kaip anglies lemputės, bet užtat ilgiau laikosi, vadinasi, mažiau esti išlaidų del lempučių atnaujinimo.

Einant Stefano ir Wieno dėsniais, juo augštesnė temperatūra, juo didesnė dalis radiacijos energijos pasireikš matomąja radiacija. Todel, keldami voltažą augštyn mes gausime geresnį efektą, bet užtat lemputės veikimas arba jos gyvenimas bus trumpesnis. Ir šituo atveju lemputės su metalinėmis vielomis yra patogesnės, kaip lemputės su anglies siūlu, nes jos per keletą minučių gali išlaikyti dvigubai didesnį voltažą kaip jų normalus voltažas, bet anglies lemputės nuo tokio dvigubo voltažo perdegs. Antra vertus, juo augštesnė siūlo temperatūra, juo didesnis energijos kiekis išsklaidomas kiekvienu kvadrat. milim. vielos paviršiaus. Pavyzdžiui, viela 4 mtr. ilgio ir 0,06 m/m. diametro turi tokią pat varžą, kaip ir viela 1 mtr. ilgio ir 0,03 m/m. diametro. Bet pirmosios vielos paviršius yra 8 sykius didesnis, kaip antrosios, ir todel energijos išsklaidymas pirmuoju atveju yra žymiai smarkesnis. Ligi šiol elektrotechnikams nepasisekė pagaminti tantalo, wolframo arba osmio lempučių mažesniam žvakių skaičiui kaip 32 prie įtempimo 230 voltų. Tokios lemputės pirmą sykį buvo pagamintos 1911 metais. Galima manyti, kad ir nepasiseks pagaminti metalinių lempučių mažesniam žvakių skaičiui, nes trumpinant metalinį siūlą mažės jo varža ir atatinkamai didės wattų skaičius, t. y. didės temperatūra ir žvakių skaičius. Antra vertus, ilginant metalinį siūlą mažės wattų skaičius ir temperatūra ir, kaip jau augščiau pasakyta, ekonomingumas mažės. Todel, norint pasiekti daugiau ekonomijos šviesos atžvilgiu keliant voltažą reikia imti anglies lemputes, kurios ir šiandien yra tinkamiausios augštiems voltažams.

Kaitinimo lemputės įjungiamos į apšvietimo tinklą visuomet lygiagrečiai, kaip rodo 188 piešinys. Dinamo mašina tarp abiejų magistralių palaiko visuomet tą patį potencialų skirtumą, nepaisant to, koks skaičius lempučių įjungtas. Magistralės apskaičiuojamos taip (ilgio ir skerspjūvio atžvilgiais), kad įtempimo nuostolis jose būtų ne didesnis kaip 10%. Jeigu lemputės reikalauja 110 voltų, tai turint galvoje įtempimo nuostolį

10% elektrovaromoji dinamo mašinos jėga privalo būti ne mažesnė kaip $\frac{100}{90} \times 110 = 122$ voltai. Paprastai tokiais atvejais imama dinamo mašina 125 voltų. Iš schemos aišku, kad srovė magistralėje yra lygi sumai srovių lemputėse, t. y. jeigu viena lemputė eikvoja 0,5 ampero, o iš viso lygiagrečiai įjungta 100 lempučių, tai srovė magistralėje bus 50 amperų.

Perduodant elektros energiją į atokumą reikia skaitytis su energijos nuostoliais todel, kad dalis energijos laidininkuose virsta šilima. Jeigu mes pažymėsime srovę laidininke raide J ir jo varžą raide R, tai JR = E bus voltažo nuostolis arba voltažo kritimas laidininke, tuo tarpu einant Joulio dėsniu energijos nuostolis laidininke bus proporcingas J^2. Taigi norint sumažinti šitą nuostolį reikia mažinti srovė. Perduodama linijai energija matuojama sandauga J.E. Čia E reiškia voltažą, prie kurio perduodama energija. Iš to aišku, kad tas pats energijos kiekis galima perduoti su mažesniu nuostoliu atatinkamai sumažinus J ir padidinus E. Pavyzdžiui, mes galime perduoti 1000 wattų energijos iš vienos vietos į kitą vietą arba srovę 10 amperų prie 100 voltų arba srovę 5 amperų prie 200 voltų. Tegu linijos varža bus 2 ohmai. Tad pirmuoju atveju energija, kuri virsta šilima ir bus išsklaidyta, yra lygi $10^2.2 = 200$, o antruoju atveju $5^2.2 = 50$ wattų. Tai reiškia, kad padidinę dusyk voltažą, mes sumažinsime energijos nuostolį voltais ant linijos 4 syk. Todel perduodant energiją iš vienos vietos į kitą šiandien vartojama augšti voltažai ir žemi amperai, nes juo augštesnis bus voltažas, juo mažesnė dalis bus išsklaidyta šilimos pavidalu. Šiandien yra energijos perdavimo instalacijų, kurios dirba prie įtempimo 120.000 voltų. Bet čia elektrotechnikas susiduria su kitu nemalonumu, būtent, su faktu ištekėjimo elektros iš laidininkų į orą prie labai augštų voltažų.

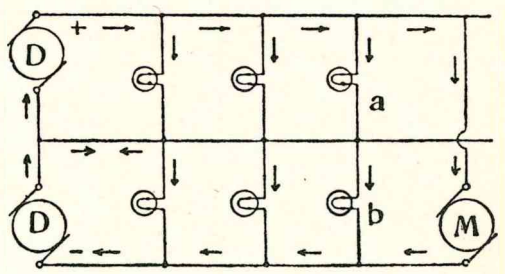


188 pieš.

Jeigu perduodami energiją augštesniu voltažu ir mažesniais amperais mes paimsime laidininką 4 syk mažesnio skerspjūvio kaip tuo atveju, kada perduodama energija prie 100 voltų ir 10 amperų, tai mes tokiu būdu padidinsime 4 sykius linijos varžą, t. y. turėsime varžą nebe 2 ohmu, bet 8 ohmus. Todel dabar energijos nuostolis bus $5^2.8 = 200$ wattų. Tai yra tas pats kaip ir tada, kada energija perduodama prie 100 voltų ir 10 amperų. Bet užtat dabar mums reikės 4 sykius mažiau vario ir, vadinasi, išlaidos variui bus 4 syk mažesnės. Reikia turėti galvoje, kad elektros energijai perduoti ir padalyti vartojama vario laidininkai, o varis nepigus metalas. Tokiu būdu didindami mašinos valtažą, bet nekeisdami jos galios, mes vienu atveju, t. y. palikdami laidininkus to paties skerspjūvio, kaip ir prie mažesnio voltažo, sutaupysime $^3/_4$ energijos, o kitu atveju, t. y. sumažinus 4 syk vario laidininkų skerspjūvį, mes sutaupysime $^3/_4$ vario. Vadinasi, kiekvienu atsitikimu reikia apskaičiuoti, kas atsieina pigiau.

Vaduojantis šitais atžvilgiais yra imama įjungti lemputėms į apšvietimo tinklą vadinama trijų laidininkų sistema, kuri šiandien, galima sakyti, išimtinai vartojama ir kurios schemą atvaizduoja 189 piešinys. Mes čia turime dvi dinamo mašinas, sujungtas iš eilės, ir dvi magistrales: vieną nuo + polio vienos dinamo mašinos ir antrą nuo — polio antrosios dinamo mašinos. Trečias laidininkas eina tarp šitų dviejų magistralių nuo laidininko, jungiančio + polį vienos mašinos su — poliu antros. Schema rodo, kad esant tam pačiam skaičiui kaitinamųjų lempučių ir vienoje ir antroje šakoje, srovė kiekvieną kartą eina iš eilės per dvi lemputes. Vadinasi, visos lemputės dabar eikvoja dvigubą voltažą, bet tik pusę tos srovės, kurią jos eikvoja prie dviejų laidininkų sistemos (žiūr.

189 piešinio schemą). Bet, kaip jau anksčiau įrodyta, tokiomis sąlygomis energijos nuostolis laidininkuose bus 4 syk mažesnis kaip prie 2-jų laidininkų sistemos. Kada abidvi tinklo pusės užkrautos vienodai, tai per vidurinį arba neutralinį laidininką visiškai neina srovė. Bet ir tada, kada abidvi pusės nevienodai užkrautos, kiekviena lemputė gauna srovę nepriklausomai nuo kitų lempučių. Tegu, pavyzdžiui, lemputė b išjungta. Tada srovė, kuri eina per lemputę a, grįžta į neigiamą laidininką per neutralinį laidininką, arba kada išjungta viena iš lempučių a, tai atitinkanti jai lemputė b gauna reikalingą jai srovę per neutralinį laidininką nuo dinamo mašinos ir perduoda tą srovę neigiamam laidininkui. Kada abidvi pusės kompensuotos, abidvi dinamo mašinos dirba iš eilės sudarydamos dvigubą įtempimą ir visa srovė nuo antros mašinos eina per pirmąją mašiną. Jeigu srovės varijojimas neigiamoje pusėje yra didesnis, kaip teigiamoje, tai dinamo iš neigiamos pusės duoda reikalingą perteklių srovės per neutralį laidininką ir tokiu būdu padengia defektą, arba priešingai. Taigi, ir čia laidininkus galime paimti su skerspjūviu 4 syk mažesniu kaip prie dviejų laidininkų sistemos. Be to, dar reikia turėti galvoje, kad vidurinis arba neutralis laidininkas čia dusyk trumpesnis ir, kadangi per jį arba visiškai neina srovė arba eina maža srovė, jam dažnai suteikiama skerspjūvis dar 2 syk mažesnis kaip + ir — laidininkams. Todel vartojant trijų laidininkų sistemą visa vario masė sudaro tik $^1/_4 + {}^1/_8 = {}^3/_8$ tos masės, kuri reikalinga prie dviejų laidininkų sistemos.



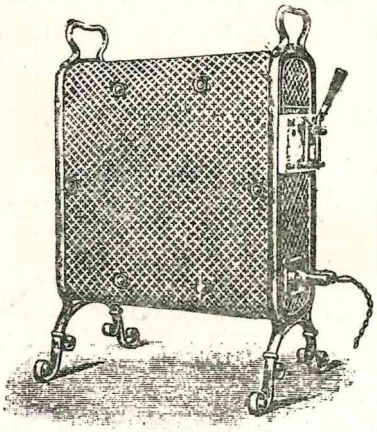
189 pieš.

Gatvėms, švyturiams, dirbtuvėms, didelėms salėms apšviesti vartojamos elektros lanko lempos. Taip lankas, kuris eikvoja 60 voltų ir 15 amperų, duoda 1000 žvakių. Švyturiams vartojami lankai, kurie eikvoja 100 amperų ir duoda ligi 100000 žvakių. Keliant lanko voltažą, jis ilgėja ir duoda daugiau šviesos. Antra vertus, galima gauti ilgesnis ir šviesesnis lankas ir prie mažesnio voltažo, jeigu impregnuoti abidvi anglies natrijo, kalcijo ir kitų metalų druskomis, kurios prie lanko augštos temperatūros destiliuoja ir duoda daug garų, kurie lengvai ionizuojasi. Toksai lankas būna gan ilgas ir labai skaidrus, duoda geltoną šviesą. Apie gyvojo sidabro lanką pasakyta pakankamai „Šviesos“ skyriaus 8 §, 108 ir 109 puslap. Lanko lempos dažniausiai įjungiamos į tinklą iš eilės. Apie automatišką lankų lempų reguliavimą kalbėsime vėliau. Reikia pasakyti, kad apšvietimas lanko lempomis yra pigesnis kaip kaitinamosiomis lempomis.

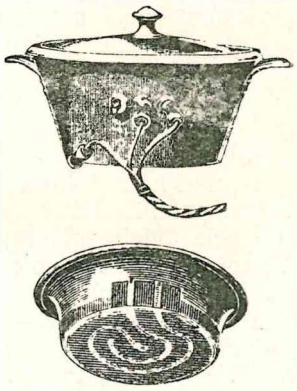
Ir svarbieji tinklo laidininkai ir tinklas gyvenamuose namuose apskaitomi tam tikrai maksimalei srovei, prie kurios dar laidininkai neįkaista ir tuo būdu nesudaro gaisro pavojaus. Kad būtų apsaugoti laidininkai nuo tokių srovių, kurios, einant Joulio dėsniu, galėtų sutirpinti laidininkus ir padegti namą arba pridaryti kitos kokios mažesnės žalos, vartojami saugikliai arba pavidalu plonų trumpų ir siaurų švino plokštelių arba dažniau pavidalu plonų ir trumpų vielų. Paimsime pavyzdį. Tegu maksimalė leistina srovė bus 10 amperų. Paimsime saugiklį pavidalu geležinės vielos 2 cm. ilgio ir 0,2 mm. diametro. Tokios vielos varža bus $0{,}12.10^{-4}\frac{2}{3{,}14.10^{-4}} = 0{,}08$ ohmai. Einant srovei 10 amperų per 1 sekundą bus sudaryta šilimos $0{,}24.100.0{,}08 = 1{,}92$ kalorijų. Vielos tūris bus $2.3{,}14.10^{-4}$ cm^3, vielos masė $2.3{,}14.10^{-4}.7{,}8$ gramų, ir atsimenant geležies lyginamąją šilimą 0,11, vielos šilimos talpumas bus $2.3{,}14.10^{-4}.7{,}8.0{,}11 = 5{,}4.10^{-4}$ kalorijų. Vadinasi, veikiant tik 1 sekundą šita srovė pakeltų vielos temperatūrą ligi $\frac{1{,}92}{5{,}4.10^{-4}} = 3555^0$, t. y. veikiant tik 0,5 sekundos srovei 10 amperų vielos temperatūra pakils ligi 1777^0, tai yra viela bus įkaitinta ligi temperatūros, augštesnės kaip geležies tirpimo temperatūra. Todel viela sutirps (ir net išgaruos) ir srovė bus pertraukta.

Taigi reikšmė tokių saugiklių yra ta, kad veikiant stipresnei srovei, kaip tam tikra norma, per trumpą sekundos dalį tasai saugiklis bus sutirpintas ir srovė bus pertraukta. Pati srovė normuojama taip, kad laidininkai neįkaistų.

Anksčiau jau paminėta, kad geležinės vielos arba plonos geležinės juostos, reostatai, kurie vartojami srovei reguliuoti, žymiai įkaista. Todel reikia palikti pakankamus protarpius tarp atskirų vielos spyruoklių vėdinimui, duodant orui laisvai cirkuliuoti tarp reostato vielų. Jeigu reostatas įdėtas į dėžę, tai ta dėžė turi būti aprūpinta skylėmis del oro cirkulacijos. Todel aišku, kad aparatais, panašiais į tokius reostatus, galima šildyti butai, vartojant elektros energiją. 190 piešinys atvaizduoja tokį elektrišką kaloriferį butams šildyti, kuris konstruotas taip, kaip reostatas, tuo vienok skirtumu, kad viela įterpta į masę iš pusėtino šilimos laidininko, kaip silpnai apdegintas kaolinas, šamotas arba fajansas. Tokiu būdu konstruotas kaloriferis veikia kaip paprasta kambario krosnis. 191 pieš. atvaizduoja elektrinį randelį, vartojamą virtuvėje. Čia irgi mes turime ploną metalinę juostelę, kuria apsuptas metalinis randelis. Be to, šita juostelė išorėj apklota mase iš pusėtino šilimos laidininko. Patogumas tokių padargų šildyti butams, virtuvės randeliams, arbatininkams, laidyniams ir t. t. yra tas, kad reikia tik įkišti štepselis (žiūr. 190 ir 191 pieš.), kad būtų paleista srovė, ir dar tas, kad šita srovė lengva reguliuoti su pagalba tam tikro reostato ir, vadinasi, nustatyti tokia temperatūra, kokia tuo ar kitu atveju yra reikalinga. Pagaliau, prie veikimo ir reguliavimo patogumų prisideda dar švarumas, nes nei dūmų nei suodžių čionai nėra. Amerikoje ir Europoje, ypač dideliuose pramonės centruose, toksai elektriškas šildymas yra jau plačiai išsiplėtęs. Mūsų krašte elektros energijayra dar tiek brangi, kad į tokį elektrišką šildymą dar tenka žiūrėti kaipo į prabangos dalyką.

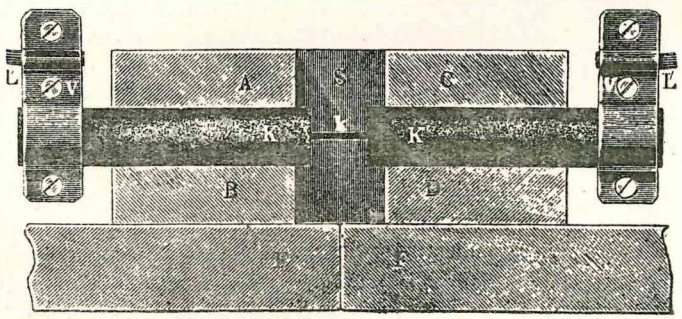


190 pieš.



191 pieš.

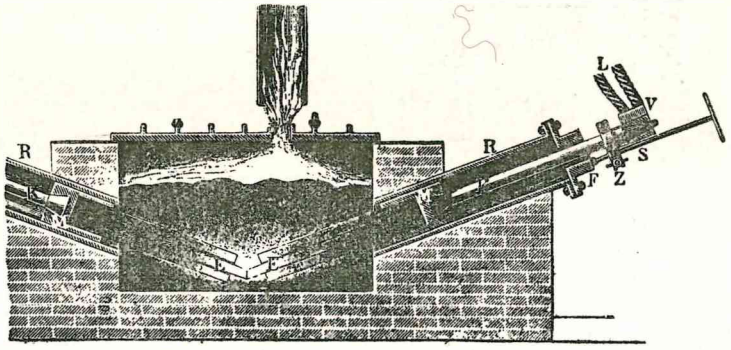
Pagaliau, šiandien jau plačiai vartojama elektra gauti augštoms temperatūroms, prie kurių tik ir galimi kai kurie chemiški procesai, ypač metalurgijos srityje. Mes čia kalbame apie elektros krosnis, kurių yra du tipai: vienas tipas krosnies remiasi Joulio dėsniu. Tokią krosnį schematiškai atvaizduoja 192 piešinys. Iš šamoto akmenų A, B, C, ir D sudėta krosnis (šamotas — medžiaga, kuri išlaiko augštą temperatūrą). Per vidurį tų šamoto akmenų prakišti du stori cilinderiai K K iš grafito anglies. Ant anglies cilinderių galų arba elektrodų išorėj užmauti metaliniai žiedai L L, į kuriuos įjungti kabeliai srovei paduoti. Krosnies S vidury tarp elektrodų galų ir kontakte su jais randasi laibas anglies stiebas k (tokių laibų stiebų gali būti ir daugiau). Paleidus per elektrodus srovę, laibas stiebas įkaista ligi 2000—3000°. Jeigu krosnis S bus užkrauta



192 pieš.

mišiniu bet kurio metališko oksido ir anglies, tad tas mišinys bent artimiausiam kontakte su laibu anglies stiebu irgi bus įkaitintas ligi temperatūros 2000—3000°. Dažnai net nėra reikalo tarp elektrodų K K turėti laibų stiebų. Pakanka tarpas tarp tų elektrodų užk auti mišiniu iš anglies ir kokio nors metalinio oksido, eventualiai paliekant vieną stiebą k, kad palengvėtų srovės susidarymas. Užkrautas mišinys kais nuo stiebo k ir ims leisti srovę, ir to išdavą mes turėsime susidarymą Joulio šilimos dideliais kiekiais. Taigi šita elektros krosnis duoda tik augštą temperatūrą, reikalingą cheminiam procesui. Kalcio karbido, silicio karbido, grafito (Amerikoje geriausių tepalų pagrindas) gaminimas ir pagaliau redukcija prie augštų temperatūrų tokių metalų, kaip chromas, volframas molibdenas, manganas, turinčių didelės reikšmės metalurgijoje, atliekamas tokios rūšies krosnyse. Pagaliau, šitos vadinamos kaitinimo krosnys Amerikoje ir Europoje, ypač ten, kur yra pakankamai vandens jėgos, kad būtų gaunama pigiai elektra, pastaraisiais laikais vis plačiau ir plačiau vartojamos geležį ir plieną gaminant.

193 piešinys atvaizduoja elektros krosnį antro tipo, būtent, lanko krosnį. Čia mes irgi turime krosnį, sudėtą iš šamoto plytų (aplamai, iš medžiagos, kuri gali išlaikyti augštą temperatūrą, sakysime, iš kalkio plytų). Per atatinkamus kanalus į šitą krosnį įvedami du stori elektrodai E E iš anglies. Išorėj prie tų elektrodų galų metaliniais žiedais prijungti kabeliai. Suvedę elektrodus E E ligi kontakto ir paskui atitraukę juos taip, kad tarp jų susidarytų tarpas, mes gausime čionai žinomą jau mums Voltos lanką, tiktai daug didesnį kaip lanką lempose, ir galėsime turėti temperatūrą ligi 3000° ir augščiau. Čionai, kaip jau mes žinome, veiks ne tik Joulio šilima, bet ir elektrolizė, apie kurią bus kalbama kitame paragrafe. Taigi prikrovę tokią krosnį, sakysime, mišiniu boksito (mineralas, kuris turi didelį procentą aliuminio oksido ($Al_2 O_3$) ir kriolito ($Na_3 Al Fl_6$) tam tikroje proporcijoje, mes gausime metalą aliuminį, kurs bus išdava elektrolitinio proceso prie augštos temperatūros. Praeito šimtmečio pradžioje aliuminis buvo labai brangus metalas, gangreit taip pat brangus kaip sidabras, nepaisant to, kad molio ant žemės yra kiek nori, o kiekvienas molis turi savyje pakankamai aliuminio oksido, nes aliuminis buvo gaminamas cheminės redukcijos būdu ne iš molio, bet iš boksito ir kriolito. Reikia pasakyti, kad ir šiandien neišdirbtas dar procesas gaminti aliuminiui vien tik iš molio. Galima vartoti kaolinas, bet su žymiomis priemaišomis boksito ir kriolito. Toksai mišinys elektros krosnyje lanko tipo duoda gerą išeitį aliuminio. Šiandien aliuminis yra, sulyginti, pigus metalas ir gaminamas dideliais kiekiais Amerikoje, vartojant Niagaros krioklio jėgą, ir Šveicarijoje, vartojant Reino krioklio jėgą.



193 pieš.

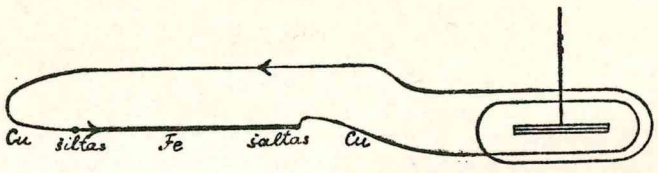
Reikalingas dirvai azotas ilgą laiką buvo suteikiamas vadinamos Čili salietros pavidalu, ($Na NO_3$). Šitos druskos išteklius smarkiai sumažėjo, ir jau nebeužtenka jo Europos žemdirbystės reikalams. Bet mes turime daugybę azoto atmosferoje ir, Skandinavijos mokslininkų Birkelando ir Eydo sumanymo dėka, šiandien visur, kur tik yra pakankamai vandens jėgos ir kur gaunama pigiai elektros energija, azoto oksidai, reikalingi salietrai sudaryti, gaminami iš oro veikiant azoto ir deguonio mišinį Voltos lanko augštai temperatūrai, nes prie paprastų temperatūrų ir ligi 2000° azotas ir deguonis nesijungia, tuo tarpu tarp 2000 ir 3000° susidaro junginys $N_2 O_2$. Toksai junginys susidaro volto lanko krosnyje. Lanko liepsna sukama tam tikru magnetiniu lauku ir susidaręs junginys išmetamas iš augštos temperatūros srities, jungiasi toliau

su deguoniu ir duoda dujas $N_2 O_4$, kurios su vandeniu duoda azotinę ir azoto rūgštis, arba su žemės šarminių metalų hidroksidais, sakysime, su kalcio hidroksidu — salietrą.

Pagaliau, lanko tipo krosnys galima vartoti ir tokiems procesams, kuriems vartojamos kaitinimo krosnys, nes volto lankas gali duoti temperatūrą dar augštesnę, kaip kaitinimo krosnis. Kokio tipo krosnis tuo ar kitu atveju yra patogesnė, pareina visų pirma nuo cheminio proceso ir nuo temperatūros, reikalingos procesui įvykdyti. Elektrolitiniams procesams, reikalingiems labai augštos temperatūros, patogiausios bus lanko tipo krosnys.

Duotų čia pavyzdžių pakanka, kad suprastume didelę reikšmę elektros energijos mūsų dabarties gyvenimui. Ypač metalurgijos srityje elektros energija jau tiek plačiai taikoma, kad išaugo nauja mokslo disciplina, būtent elektrometalurgija, ir atatinkama technikos šaka, kurios atidaro plačias perspektyvas metalų gamybos srityje.

Einant Voltos dėsniu kontakto elektrai algebrinė suma potencialų uždarytame tinkle iš įvairių metalų yra lygi nuliui, jeigu tik visos tinklo dalys yra prie tos pačios temperatūros. Kaip jau 11 § paminėta, Zeebeckas 1821 metais konstatavo, kad tinkle, sudarytam, sakysime, iš vario ir geležies (žiūr. 194 pieš.) susidaro elektrovaromoji jėga, jeigu abiejų metalų kontakto vietos nėra prie tos pačios temperatūros (vadinasi, tokiu atveju algebrinė suma potencialų nėra nulis). Šita elektrovaromoji jėga varo per tinklą srovę nuo vario į geležį augštesnės temperatūros kontakte ir nuo geležies į varį žemesnės temperatūros kontakte. Šita srovė vadinasi termosrovė ir sudaryta tokiu būdu elektra vadinasi termoelektra. Zeebeckas mėgino net sudaryti iš metalų eilę, būtent: stibis, geležis, cinkas, sidabras, auksas, alavas, švinas, gyvsidabris, varis, platina ir bismutas. Paėmus tinklą iš bet kurių šitos eilės dviejų metalų, srovė kontakte augštesnės temperatūros eis nuo metalo, kuris eilėje užima tolimesnę vietą, į metalą, kuris eilėje užima vietą arčiau nuo eilės pradžios. Be to, elektrovaromoji jėga bus juo didesnė, juo toliau eilėje randasi vienas nuo antrojo du metalai. Reikia vienok pasakyti, kad šitas Zeebecko dėsnis turi tik apribotos reikšmės, nes jo duota metalų eilė seka jo dėsniu tik tam tikrose temperatūros ribose.



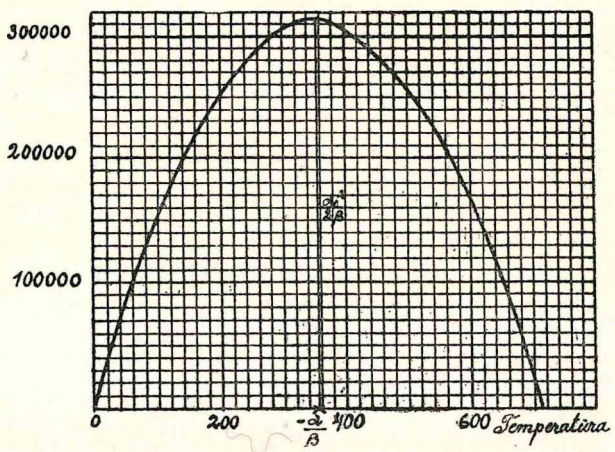
194 pieš.

Voltos įtempimo dėsnis, kuris sako, kad nėra srovės uždarytame tinkle, kuris sudarytas iš įvairių metalų tos pačios temperatūros, visiškai sudera su energijos išlaikymo dėsnio reikalavimais, nes jeigu tokiam tinkle iš laidininkų būtų srovė, tai šitą srovę galima būtų panaudoti arba šilimai gaminti arba varikliui varyti neeikvojant jokios energijos tai srovei sudaryti. Vienu žodžiu, mes tada turėtumėm Perpetuum Mobile pirmos rūšies. Antra vertus, jeigu mes sudarysime uždarytą tinklą iš dviejų metalų, sunituotų dvejose vietose, ir viena iš tų vietų turės augštesnę temperatūrą kaip antroji, tai tokiam tinkle mes turėsime srovę. Aišku, kad, einant energijos išlaikymo dėsniu, mes čia turėsime kombinaciją arba mašiną, kuri šilimą paverčia elektra. Čia bus perėjimas tam tikro šilimos kiekio iš vietos augštesnės temperatūros į žemesnę, ir tokio perėjimo vaisiumi bus šilimos dalies virtimas elektra. Taigi, termo-elektrovaromoji jėga ir termosrovė, kuri atsiranda aprašytose čia sąlygose, yra būtina išdava Voltos įtempimo dėsnio ir energijos išlaikymo dėsnio.

Aplamai, mes čia turime labai mažas elektrovaramąsias jėgas. Dviem tokiems metalams, kaip stibis ir bismutas, kurie Zeebecko eilėje užima kraštutines padėtis, ta elektrovaromoji jėga siekia tik $^1/_{100}$ dalį volto, kitais atvejais ta jėga sudaro keletą milivoltų.

Paimsime geležies vielą, prinituosime prie jos galų dvi vario vielas ir sujungsime tas vario vielas su jautriu galvanometru. Įleisime vieną sunituotą vietą į indą su ledo ir vandens mišiniu, o antrą sunituotą vietą įdėsime į tynę (sakysime, įdėsime į smėlį geležiniam tigle) ir kaitinsime šitą tiglį, kad galima būtų nuosakiai kelti šitos sunituo-

tos vietos temperatūra. Paėmę jautrų galvanometrą gan didelės varžos, mes atsilenkimus galėsime laikyti proporcingais termo-elektrovaromajai jėgai, ir, nustatę galvonometro konstantą su pagalba normalinio elemento, galėsime išreikšti tą elektrovaromąją jėgą voltais (arba tūkstantinėmis dalimis volto, t. y. milivoltais). Atlikę visą eilę tokių matavimų prie įvairių temperatūrų, mes konstatuosime, kad termoelektrovaromoji jėga iš pradžios, kįlant temperatūrai, auga ir auga iš pradžios sekant tiesios linijos lygtį. Paskui ji auga pamažiau ir pasiekia del vario ir geležies prie temperatūros 284° maksimumą. Perėjus per maksimumą, termoelektrovaromoji jėga, kįlant temperatūrai toliau, krinta ir, pasiekus nulinę vertę, apsiverčia, t. y. dabar srovė jau eina karštoje vietoje nuo geležies į varį, tuo tarpu ligi nulinės vertės srovė karštoje vietoje ėjo nuo vario į geležį (šaltoje vietoje priešingai). Išreikšdami gautus tokiu būdu davinius grafiškai, t. y. atidėdami temperatūras ant abscisos, o elektrovaromąsias jėgas, atatinkamas toms temperatūroms, ordinatomis, mes gausime kreivąją, kurią atvaizduoja 195 piešinys. Šita kreivoji liečia ne vario ir geležies kombinaciją, bet švino ir geležies kombinaciją, prilyginus švino potencialą nuliui (kodel taip daroma, bus paaiškinta kiek žemiau). Šita kreiva yra parabola ir kitų kombinacijų kreivosios irgi yra parabolos, taip kad termo-elektrovaromoji jėga galima išreikšti parabolos lygtimi, būtent $E = at + \frac{b}{2} t^2$. Čia E reiškia elektrovaromąją jėgą, t reiškia karštos vietos temperatūrą Celsio gradais, o a ir b reiškia dvi konstantas, charakteringas paimtiems metalams. Tas konstantas galima išskaičiuoti parašius elektro varomosios jėgos lygtį dviem temperatūroms ir išmatavus tą elektrovaromąją jėgą prie dviejų temperatūrų.



195 pieš.

Profesorius Tait'as, kuris su savo mokiniais yra atlikęs daugybę matavimų termoelektrinės jėgos įvairių įvairiausių kombinacijų, duoda elektrovaromajai jėgai tokią lygtį:

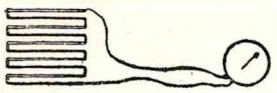
$$E = a\,(t_1 - t_2)\left[t_0 - \frac{1}{2}(t_1 + t_2)\right].$$

Čionai t_1 ir t_2 reiškia karštos sunituotos vietos temperatūrą ir šaltos sunituotos vietos temperatūrą, t_0 reiškia vadinamą neutralę temperatūrą, t. y. tą temperatūrą, prie kurios elektrovaromoji kombinacijos jėga darosi lygi nuliui, o a tam tikrą konstantą, charakteringą paimtam metalui. Šita Tait'o lygtis liečia kombinacijas įvairių metalų su švinu, palaikius švino potencialą nuliu. Bet, parašę lygtis metalams a ir b su švinu, mes galėsime parašyti ir lygtį kombinacijai metalų a ir b, ir gausime tada elektrovaromajai jėgai šitokią lygtį:

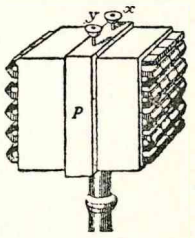
$$E_{ab} = (a - b)\,(t_1 - t_2)\left[T_{ab} - \frac{1}{2}(t_1 + t_2)\right].$$

Čia t_1 ir t_2 reiškia temperatūras karštos ir šaltos vietų, T_{ab} reiškia neutralę kombinacijos temperatūrą, o a ir b reiškia dvi konstantas, charakteringas paimtiems metalams. Šitas konstantas Williamas Thomsonas pavadino lyginamąja elektros šilima, kuri įvairiuose metaluose turi įvairias vertes ir net įvairius ženklus.

Kad gautume stipresnį termo-elektrinį efektą, galime iš eilės sujungti keliolika ar net keliasdešimt termo-elementų į batareją. 196 piešinys rodo sujungtus taip 5 elementus iš stibio ir bismuto. Čia lazdelės iš stibio ir bismuto sunituotos iš eilės ir taip, kad pirmoji, trečioji, penktoji ir t. t. sunitavimo vietos, atkreiptos į vieną pusę, sakysime į dešinę, o antroji, ketvirtoji, šeštoji ir t. t. sunitavimo vietos atkreiptos į antrą pusę, į kairę. Kraštutinės lazdelės, viena stibio, o antra bismuto, prijungtos vielomis prie galvanometro. Priartinus prie sunituotų galų, sakysime, nelygaus skaičiaus, ranką, tos radiacijos, kuri išeina iš rankos, pakaks, kad būtų sudarytas temperatūrų skirtumas nelygaus skaičiaus sunituotų vietų ir lygaus skaičiaus sunituotų vietų. Galvanometras parodys srovę. Tokia kombinacija vadinasi termostulpu ir dažnai vartojama radiacijai sekti. 197 piešinys atvaizduoja tokį termo-stulpą (Melloni'o stulpą), kuris ypatingai patogus sekti tamsių šilimos spindulių efektui. Čia mes turime termo-batareją iš keliasdešimt elementų stibis-bismutas, įdėtą į dėžę, kuri aprūpinta sraigtais (bornais) x ir y, prie kurių prijungti galai pirmojo elemento stibio ir paskutinio elemento bismuto. Prie šitų sraigtų vielomis prijungiamas jautrus galvanometras. Čia irgi iš vienos pusės mes turėsime nelygaus skaičiaus sunituotas vietas, o iš antrosios lygaus skaičiaus. Pakanka pastatyti tokis stulpas taip, kad viena jo pusė būtų atkreipta į paviršių, kuris leidžia šilimą spinduliais, jeigu tik to paviršiaus temperatūra šiek tiek augštesnė, kaip apylinkos temperatūra, ir mes tuojau pastebėsime galvanometro atsilenkimą.



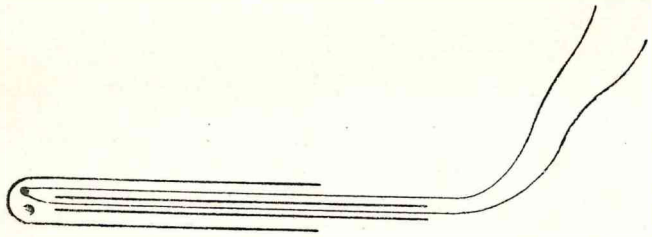
196 pieš.



197 pieš.

Bet ne tik moksliniams tyrinėjimams sudaromos tokios termo-batarejos. Yra termo-batarejų didelio maštabo, kurios vartojamos laboratorijose, kad, reikalui esant, patogiai būtų gaunama srovė. Tokiose batarejose dujų liepsna šildo, sakysime, visas nelygaus skaičiaus sunituotas vietas, tuo tarpu lygaus skaičiaus sunituotos vietos aprūpintos metaliniais sparnais, kad tos vietos smarkiau vėstų ir kad jų temperatūra mažai skirtųsi nuo apylinkos temperatūros. Jeigu tokia batareja turi pakankamai porių stibis-bismutas, tai ji gali duoti gan stiprią srovę. Tai yra tikra mašina gauti elektrai iš šilimos energijos.

Pagaliau, paminėsime čia reikšmę termo-elemento kaipo elektrinio termometro augštoms temperatūroms matuoti. Toksai termometras vadinamas elektrišku pirometru. Mes čia aprašysime Le Chatelier pirometrą, kuris yra tikslus aparatas ir dažniausiai vartojamas augštoms temperatūroms matuoti. Jis susideda iš dviejų vielų: viena iš grynos platinos, o antra iš lydinio 90% platinos ir 10% rodio (brangus metalas, gimininga platinai). Vieni galai šitų dviejų vielų sunituoti mažučiu rutuliuku, antrieji galai tų vielą laisvi. Vielos viena nuo antros izoliuotos, prakišus vieną vielų per vamzdį iš kaolino arba iš porcelano. Be to, kad būtų apsaugoti rutuliukas ir vielos nuo cheminio veikimo to mediumo, kurio augšta temperatūra matuojama, vamzdis su vielomis įkišamas į kitą platesnį porcelaninį vamzdį, kuris gali išlaikyti augštą temperatūrą (žiūr. 198 pieš.). Abiejų vielų laisvieji galai įleidžiami į du puodelius su gyvuoju sidabru, įdėtus į tynę iš vandens ir ledo. Į tuos pačius puodelius su gyvuoju sidabru įleidžiami galai varinių vielų arba kabelių, prijungtų prie galvanometro bornų (prie galvanometro sraigtų). Įkišę porcelano vamzdį su termo-elementu jo vidury į krosnį, mes gausime galvanometro atsilenkimą, proporcingą krosnies temperatūrai. Golvanometras turi būti jautrus,



198 pieš.

tipo d'Arsonvalio. Paprastai tokio galvanometro skala graduota milivoltais ir gradais, taip kad tuo pačiu laiku galima atskaityti termo - elektrovaromoji jėga ir atatinkama tai jėgai temperatūra. Kadangi platinos ir radio tirpimo temperatūra apie 1800°, tai tokiu termometru galima gan tiksliai išmatuoti temperatūros ligi 1600° (augščiau už šitą temperatūrą privestoji Tait'o termo - elektrovaromosios jėgos formula jau nebeatatinka tikrenybės). Pabrėšime čia dar, kad šitas paprastas, nors ir brangus aparatas, daug prisidėjo prie supratimo kai kurių metalurgijos procesų, ypač spyžiaus gaminimo domnuose proceso, nes pirometras padėjo sekti domnos temperatūrą įvairiose domnos vietose ir, žinant šitą temperatūrą, atkartoti laboratorijoj tas ar kitas reakcijas kaip tik prie tos temperatūros. Taigi, taip buvo nustatytas optimum temperatūros domnos procesui, ir tuo būdu galima buvo sekti to proceso atskiros fazės ir kontroliuoti jis. Dažnai inžinierius atlieka tai būdamas kabinete arba laboratorijoj toli nuo domnos, nes kabeliai nuo pirometro vielų galų galima ištiesti net ir per kelis kilometrus, o telefonu technikui prie domnos galima duoti instrukcijų, į kurią domnos vietą įdėti pirometras arba į kurią vietą perkelti jis.

Jeigu, palaikydami skirtumą temperatūrų tarp dviejų sunituotų vietų, mes turime termo - srovę vaisiumi perėjimo tam tikro šilimos kiekio nuo vietos augštesnės temperatūros į vietą žemesnės temperatūros, tad, leidžiant elektros srovę per tokią kombinaciją, srovė atliks tam tikrą darbą absorbuodama šilimą vienoje sunituotoje vietoje ir atiduodama šilimą kitoje sunituotoje vietoje. Vienu žodžiu, srovės darbas bus išeikvotas tam, kad tam tikras šilimos kiekis būtų perkeltas nuo žemesnės temperatūros į augštesnę temperatūrą. Kaip jau mes žinome iš termodinamikos toksai perkėlimas šilimos savaime niekuomet nevyksta ir galimas tiktai tam tikro išeikvoto darbo sąskaita. Todel, jeigu mes per augščiau aprašytą termoelementą, sakysime, iš vario ir geležies, paleisime elektros srovę, tai vienos sunituotos vietos temperatūra kris, o antros sunituotos vietos kils. Temperatūra kris ten, kur srovė eis nuo vario į geležį, ir kils ten, kur srovė, eis iš geležies į varį. Taigi, mes čia turėsime priešingą procesą termoelektriniam procesui. Šitas procesas žinomas Peltier'o efektu, nes jį pirmą sykį pastebėjo Peltier'as 1834 metais. Šitas terminis efektas savo esme skiriasi nuo Joulio efekto, nes Joulio efektas visiškai nepareina nuo to, kokia kryptimi eina srovė per laidininką, o Peltier'o efektas kaip tik pareina nuo srovės krypties, nes imant kombinaciją varis-geležis temperatūros kritimas bus toje sunituotoje vietoje, kur srovė eina iš vario į geležį, o temperatūros pakilimas bus ten, kur srovė eina iš geležies į varį. Apgręžus srovę temperatūros pakilimas bus ten, kur pirmą sykį buvo temperatūros kritimas, ir atbulai. Be to, Joulio efektas yra proporcingas srovės antrajam laipsniui, o Peltier'o efektas proporcingas srovės pirmajam laipsniui. Taigi, čia elektra atlieka tam tikrą darbą, perkeldama tam tikrą šilimos kiekį nuo žemesnės į augštesnę temperatūrą, absorbuodama šilimą vienoje vietoje ir žemindama tos vietos temperatūrą, ir atiduodama šilimą kitoje vietoje ir keldama tos vietos temperatūrą. Pažymėsime elektrovaromąją jėgą raide E ir srovę raide J. Tad per laiką t išeikvota elektros energija bus J. E. t wattų = 4,2 Q, jeigu mes raide Q pažymėsime šilimos kiekį. Antra vertus, tasai šilimos kiekis $Q = \frac{R}{4,2} \cdot I^2t - PIt$. Čia pirma dalis yra Joulio šilima, o antra dalis Peltier'o šilima. P čia reiškia tą šilimos kiekį, kurį per 1 sekundą sudaro srovės vienetas. Taigi $JEt = RJ^2t - 4,2\,PJt$, iš to: $E = RJ - 4,2P$. Čia 4,2P reiškia elektrovaromąją jėgą kontakto vietoje dviejų metalų, skaitant tą elektrovaromąją jėgą teigiamos srovės kryptimi. Atsimenant šitą Peltier'o efektą pasirodo, kad Zeebecko termosrovė pati mažina savo buvimo priežastį, nes ta termosrovė stengiasi išlyginti temperatūrų skirtumą abiejų sunituotų vietų. Vadinasi, kad turėtume termosrovę, visą laiką privalome palaikyti su pagalba išorinės šilimos temperatūrų skirtumą, kuris yra termosrovės priežastimi.

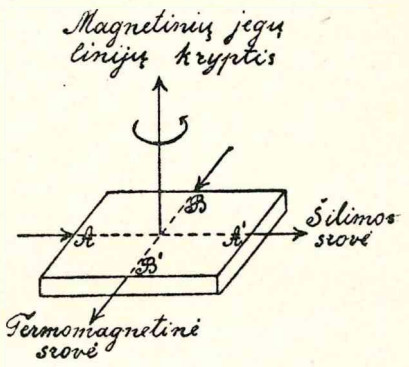
1854 metais W. Thomsonas konstatavo dar vieną elektroterminį efektą, būtent, tais atvejais, kada elektros srovė eina per laidininką, kurio temperatūra vienoje vietoje yra augštesnė kaip kitoje vietoje. Vadinasi, tokiais atvejais mes turime tuo pačiu laiku dvi sroves per laidininką: vieną elektrinę, o antrą terminę (šilimos srovė). Thomsonas

konstatavo, kad einant srovei ta pačia kryptimi kaip šilimos srovė, vienais atvejais atsiranda šilima iš srovės energijos, o kitais — šilima absorbuojama. Apgręžus srovę ir šilimos efektas apsigręžia. Aplamai, šitie šilimos efektai nedideli. Vieniems metalams jie turi + ženklą, o kitiems — ženklą ir žinomi Thomsono efektais. Pavyzdžiui, jeigu per varį elektros srovė eina ta pačia kryptimi kaip ir šilimos srovė, t. y. nuo augštesnės temperatūros į žemesnę temperatūrą, tai srovė sudaro šilimą. Einant srovei priešinga kryptimi per varį, šilima absorbuojama. Geležis tokiu atveju elgiasi kaip tiktai priešingai. Einant elektros srovei nuo vietos augštesnės temperatūros į vietą žemesnės temperatūros, šilima absorbuojama, o einant elektros srovei per geležį priešinga kryptimi ji sudaro šilimą. Taigi varyje elektros srovė padeda, taip sakant, šilimos srovei išlyginti temperatūrų skirtumus, o geležyje elektros srovė padidina esamą temperatūrų skirtumą. Tokios rūšies efektai konstatuoti ir kitiems metalams, išėmus tik šviną, kuriam Thomsono efektas yra lygus nuliui. Todel švinas yra vartojamas normaliu metalu sekant pareiną termoelektriškos srovės nuo temperatūros, kaip jau anksčiau pasakyta. Iš pradžios buvo manoma, kad šitas Thomsono efektas yra susijęs su Peltier'o efektu ir pareina nuo pasikeitimo metalų struktūros kintant temperatūrai. Taigi buvo manoma, kad kaip Peltier'o efektas yra išdava to fakto, kad kontakto vietoje dviejų skirtingų metalų susidaro kontakto potencialo skirtumas arba kontakto elektrovaromoji jėga, taip ir kontakto vietoje dviejų to paties metalo sluogsnių nevienodos struktūros turi susidaryti potencialų skirtumas, ir todel veikiant išorėj elektrovaromajai jėgai ta pačia kryptimi kaip ir tas potencialų skirtumas, turi susidaryti šilima, o veikiant išorėj elektrovaromajai jėgai priešinga kryptimi, turi būti šilimos absorbcija. Šita interpretacija tinka Peltier'o efektui, bet ji netinka Thomsono efektui jau todel, kad toksai homogeninis, nes skystas, metalas, kaip gyvsidabris, reiškia gan žymų Thomsono efektą su neigiamu ženklu, vadinasi, tos pačios rūšies efektą kaip ir geležis. Norėdamas išaiškinti šitą efektą Thomsonas priėmė, kad elektra turi šilimos talpumą, bet nevienodą įvairiuose metaluose. Tasai elektros šilimos talpumas švinui yra lygus nuliui, cinkui ir variui yra teigiamas, o geležiai ir gyvsidabriui yra neigiamas. Taigi, einant Thomsonu, jeigu temperatūra vieloje krinta t gradais nuo vieno vielos galo ligi antrojo, tai einant srovei i temperatūros kritimo kryptimi šilimos efektas per 1 sekundą bus $\pm \sigma i t$. Čia σ reiškia lyginamąją elektros šilimą, kuri pareina nuo vielos medžiagos ir, kaip jau pasakyta, gali turėti ir + ir — ženklą. Taigi pasirodo, kad darbas, atliktas elektrovaromosios jėgos ant ribos dviejų metalų, turi savo ekvivalentą ne tik Peltier'o efekte, bet dar ir Thomsono efekte, kuris pareina nuo elektros lyginamosios šilimos, kuri įvairiems metalams yra ne to paties didumo. Todel, augščiau minėta termo-elektrovaromosios jėgos formula nėra visiškai tiksli, nes šita formula išvesta turint galvoj tik kontakto potencialus ir nesiskaitant su Thomsono efektu.

Aprašyti čia srovės terminiai efektai savo esme skiriasi nuo Joulio terminio efekto. Einant elektros srovei per laidininką mes turime darbo su veiksniu, kuris yra panašus į trynimą, sakysime, skysčio į vamzdžio sienas, per kurį teka skysčius. Taigi Joulio šilimos priežastis yra panaši į trynimą ir kaip trynimo šilima nepareina nuo skysčio srovės krypties, taip ir Joulio šilima nepareina nuo krypties, kuria leidžiama elektros srovė per laidininką. O Peltier'o ir Thomsono efektai kaip tik pareina nuo elektros srovės krypties. Turėdami du metalus A ir B kontakte dvejose vietose ir kaitindami vieną iš tų vietų mes sudarysime skirtumą potencialų dviejų kontakto vietų ir gausime termosrovę. Čia srovė bus surišta su šilimos perėjimu nuo kontakto vietos augštesnės temperatūros į kontakto vietą žemesnės temperatūros. Turėdami dvi kontakto vietas tos pačios temperatūros ir leisdami srovę mes sudarysime temperatūrų skirtumą kontakto vietų. Tai bus Peltier'o efektas. Thomsono efektas reiškiasi tame pačiame metale, kada mes turime įvairiose jo vietose įvairias temperatūras.

Pagaliau, prie šitų elektroterminių efektų, kurie pareina nuo elektros srovės krypties, reikia pridėti dar 1887 metais Ettingshauseno ir Nernsto surasti termomagnetiniai ir galvanomagnetiniai efektai. Padėsime bismuto plokštelę magnetiniam lauke statmenai magnetinių jėgų linijoms, kaip rodo 199 piešinys, ir sudarysime šilimos srovę išilgai bismuto plokštelės (išilgai linijos AA'). Tad skersai bismuto plokštelės išilgai

linijos BB' eis elektros srovė. Jeigu sutiksime, kad šituo atveju veikiamasis magnetinis laukas yra elektros srovės sudarytas, tai tos srovės kryptis bus prieš laikrodžio rodiklį. Taigi čionai, kad, išeinant iš šilimos įėjimo vietos (A), būtų pasiekta srovės įėjimo vieta (B), reikia eiti ta kryptimi, kaip sukasi laikrodžio rodyklė. Aprašytas čia efektas vadinamas termomagnetiniu efektu. Jeigu, turint bismuto plokštelę magnetiniam lauke, kaip rodo 199 piešinys, būtų paleista skersai per bismuto plokštelę elektros srovė (išilgai linijos BB'), tai išilgai bismuto plokštelės (išilgai linijos AA') susidaro šilimos srovė, t. y. temperatūra vietoje A darosi augštesnė kaip vietoje A', kitaip sakant, vietoje A temperatūra kįla, o vietoje B temperatūra krinta. Čionai, išėjus iš srovės įėjimo vietos (B), reikia eiti prieš laikrodžio rodyklę, kad būtų pasiekta šilimos įėjimo vieta A, kitaip sakant, kryptimi srovės, kuri sudaro duotą magnetinį lauką. Šitas efektas yra vadinamas galvanomagnetiniu. Panašūs termomagnetiniai ir galvanomagnetiniai efektai konstatuoti ir kitiems metalams. Bet termomagnetinės srovės kryptis ne visuomet sutampa su tos srovės kryptimi bismute.

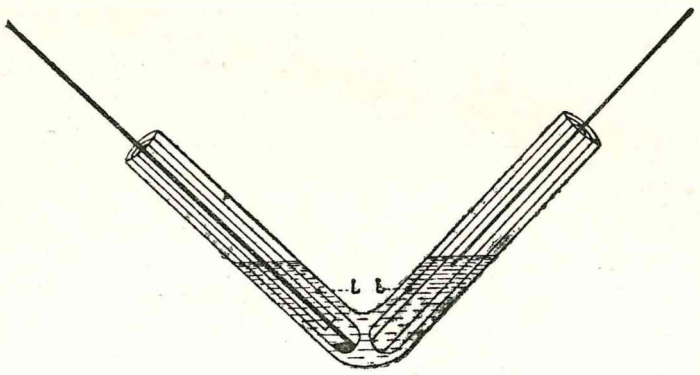


199 pieš.

15 §. Chemiški elektros srovės veikimai. Elektrolizė. Faraday'aus dėsniai. Ionai. Voltametrai. Elektrolitinė disociacija. Elektrolitų elektros laidumas ir jo matavimas. Ionų transporto skaičiai ir jų absoliutinis greitumas.

11 § mes pavadinome antros rūšies laidininkais vandens skiedinius (tirpalus) šarmų, rūgščių ir druskų, turint galvoje Voltos konstatuotą faktą, kad, sudarius uždarytą tinklą iš skirtingų metalų ir vieno iš tokių skiedinių, tinkle veikia elektrovaromoji jėga ir varo per tą tinklą elektros srovę. Kaip jau mes matėme, elektros energijos išteklius tokiam tinkle yra chemijos reakcija, kuri vyksta kontakto vietose dviejų skirtingų metalų ir tirpalo. Bet mes galime turėti šarmų, rūgščių arba druskų skystoje būklėje ir netirpindami jų vandeny, bet pakankamai pakėlę jų temperatūrą. Voltos dėsnis veikia šarmams, rūgštims ir druskoms ir šituo atveju, t. y. esant jiems skystoje būklėje prie augštų temperatūrų. Vadinasi, šitie chemijos junginiai skystoje būklėje prie augštų temperatūrų irgi priklauso antros rūšies laidininkų kategorijai. Jau nuo XVIII amžiaus pradžios buvo žinoma, kad leidžiant elektros srovę per antros rūšies laidininkus įvyksta cheminis skilimas, o kai kada dar ir antrinės chemijos reakcijos. Cavendish'ui pasisekė suskaldyti vandenį su pagalba elektros srovės į elementus, būtent į deguonį ir vandenilį. Ilgą laiką buvo manoma, kad natrio ir kalio šarmai yra vientisiniai kūnai, bet XIX amžiaus pradžioj Davy'ui pasisekė suskaldyti juos su pagalba elektros srovės ir gauti iš jų metalus natrį ir kalį. Buvo žinoma ir daugiau tokių cheminio skilimo atsitikimų einant elektros srovei arba per vandens tirpalus arba per cheminius junginius skystoje būklėje prie augštų temperatūrų. Bet kiekybiniai santykiai tarp elektros srovės ir cheminio skilimo, kitaip sakant, kiekybiniai santykiai tarp elektros ir chemijos energijos nebuvo nustatyti ligi 1833 metų, kada Mykolas Faraday'us, tasai genialus savamokslis, kuris, baigęs tik pradžios mokyklą ir patekęs paskui į Davy'o laboratoriją laborantu, tapo vienu iš didžiausių XIX amžiaus mokslininkų ir tarp kita ko darė sistematingus tyrinėjimus cheminių skilimų, einant elektros srovei per antros rūšies laidininkus. Faraday'us iš pradžios sekė cheminius srovės efektus einant srovei per sieros rūgšties ir kai kurių druskų tirpalus, bet, norėdamas eliminuoti vandenį ir tokiu būdu suprastinti bandymus, jis pradėjo tyrinėjimus chloridų sunkiųjų metalų, kaip cinko, švino, sidabro chloridai ir tyrė juos skystoje būklėje prie augštų temperatūrų, naudodamasis paprastu aparatu, kurį atvaizduoja 200 piešinys. Mes čia turime V - formos stiklo vamzdį (stiklas turi būti

toksai, kuris gali išlaikyti temperatūrą bent ligi 800°). Druska, sakysime, cinko chloridas, įdedama į šitą vamzdį ir tirpinama liepsnos karščiu. Į abidvi vamzdžio šakas įleidžiami elektrodai dviejų anglies stiebų pavidalu. Reguliuodami liepsną galime palaikyti skystą druską prie tam tikros temperatūros, kokiu 100° augštesnės kaip metalo cinko tirpimo temperatūra. Leidžiant elektros srovę ant to anglies elektrodo, per kurį srovė įeina į skystimą, vadinasi ant anodo, susidaro chloras, o ant to elektrodo, per kurį srovė išeina iš skystimo, vadinasi, ant katodo, susidaro metalas cinkas skystoje būklėje, jeigu skystos druskos temperatūra kiek augštesnė kaip cinko tirpimo temperatūra. Neigiama anglis iš piešinio kairės pusės įleista čia gangreit ligi V - vamzdžio dugno, o teigiama anglis įleista į vamzdžio šaką tik tiek, kad jos galas būtų skystoje druskoje. Tai reikalinga tam, kad chloras arba, aplamai, haloidas, kuris susidaro ant teigiamos anglies, lengviau išeitų iš skystimo ir nesiskleistų difuzijos keliu į neigiamos anglies pusę. Aprašytas čia paprastas aparatas yra patobulinta priemonė panašiems bandymams sulyginus su prietaisais, kuriuos vartojo Faraday'us iš pradžios. Taigi,



200 pieš.

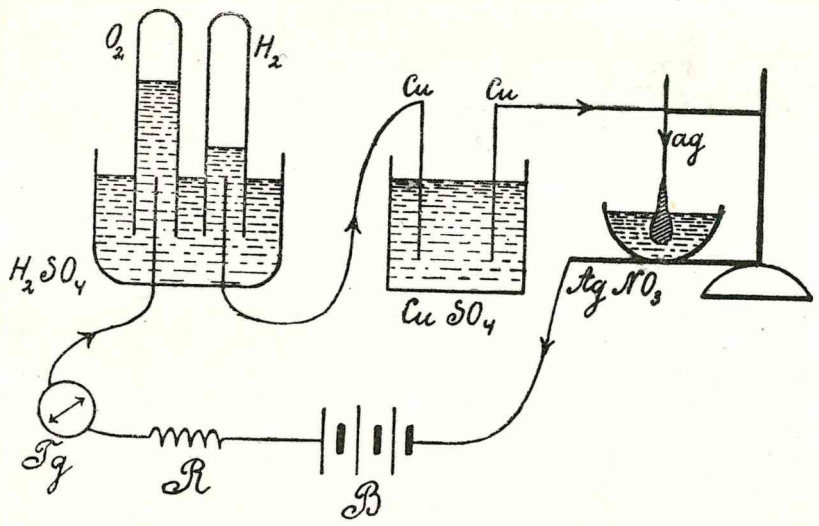
leidžiant srovę, sakysime, J amperų per laiką t sekundų per ištirpintą $Zn\ Cl_2$ ant V-vamzdžio dugno, kur randasi neigiamos anglies galas, susirinks skysto metalinio cinko karalėlis (regulus). Išėmus elektrodus, galima išpilti skystą druską su skystu metalo karalėliu į storą piestą iš fajanso arba iš akmens. Ataušus ir sukietėjus ten druskai, ji suskaldoma grūstuvu, o kietas cinko karalėlis išimamas ir atsveriamas. Atkartojęs šitą eksperimentą keletą sykių, leisdamas įvairias sroves per įvairius laikus, Faraday'us konstatavo, kad metalo kiekis yra proporcingas visam elektros kiekiui, kuris perėjo per skystą druską. Pažymėję metalo kiekį raide M mes galime išreikšti šitą Faraday'aus išvadą šia lygtimi: $M = e\,J.t$. Čia J.t reiškia visą elektros kiekį, nes, jeigu srovė J amperų ėjo per druską per t sekundų laiko, tad iš viso perėjo J.t amper-sekundų arba kulonų. Ženklas e reiškia proporcingumo veiksnį. Tą pačią išvadą Faraday'us priėjo leisdamas srovę per švino, alavo ir sidabro chloridus. Visais atvejais vienas iš skilimo produktų buvo metalas, o antrasis chloras. Pirmasai nugula ant neigiamo elektrodo, o antrasai atsiskiria ant teigiamo elektrodo.

Be to, Faraday'us sujungė iš eilės keletą aparatų ir, įnešęs į pirmąjį iš jų cinko chloridą, į antrąjį švino chloridą, į trečiąjį sidabro chloridą ir t. t., paleido per juos visus tą pačią srovę J ir leido ją per tą patį laiką t sekundų. Atsvėręs gautus įvairių metalų karalėlius, jis konstatavo, kad nugulę ant neigiamų elektrodų metalų kiekiai santykiuoja kaip jų chemiški ekvivalentai. Pažymėsime iš eilės metalų kiekius ženklais M_{Zn}, M_{Pb}, M_{Ag} (cinko, švino, sidabro) ir proporcingumo veiksnius, kurie pareina nuo metalų prigimties, iš eilės ženklais e_{Zn}, e_{pb}, e_{gA}. Tad eidami aukščiau formuluotu Faraday'aus dėsniu mes turėsime:

$M_{Zn} = e_{Zn}\ J.\ t$, $M_{Pb} = e_{Pb}\ J.\ t$, $M_{Ag} = e_{Ag}\ J.\ t$. Iš to $M_{Zn} : M_{Pb} : M_{Ag} = e_{Zn} : e_{Pb} : e_{Ag}$. Iš lygties $M = e\ I.\ t$ bus $e = \frac{M}{I.t}$. Vadinasi, e yra metalo kiekis, kuris nugula ant neigiamo elektrodo, perėjus srovei 1 amperą per 1 sekundą, kitaip sakant, perėjus per ištirpintą druską vienam kulonui. Šitą metalo kiekį Faraday'us pavadino elektrocheminiu metalo ekvivalentu, nes savo bandymais jis įrodė, kad šitie metalų kiekiai santykiuoja taip, kaip jų cheminiai ekvivalentai. Pavyzdžiui, elektrocheminiai ekvivalentai

cinko, švino ir sidabro iš eilės bus: 0,0003398, 0,0010748 ir 0,001118. Šitie skaičiai santykiuoja kaip 32,7, : 103,45 : 107,93, t. y. santykiuoja kaip cheminiai ekvivalentai šitų metalų.

Visą eilę panašių bandymų atliko Faraday'us ir su vandens tirpalais kai kurių šarmų, rūgščių ir druskų ir patvirtino išvadas, gautas su ištirpintomis prie augštų temperatūrų druskomis. 201 piešinys atvaizduoja tris aparatus panašiems bandymams, sujungtus iš eilės. Pirmasai aparatas iš kairės pusės susideda iš stiklo indo, į kurį iš apačios įlydyti du platinos elektrodai pavidalu platinos lapelių. Indas pripiltas vandens, į kurį primaišyta 5— 10% sieros rūgšties. Į indą įleisti du graduoti cilinderiai taip, kad jie užvožtų platinos lapelius, kaip rodo piešinys. Abudu graduoti cilinderiai prieš užvožiant jais platinos lapelius pripiliami ligi krantų to paties sieros rūgšties tirpalo, kaip ir stiklo indas. Uždarius juos pirštu arba kamščiu jie apverčiami, įleidžiami į rūgštį, ten iš jų ištraukiamas kamštis arba nuimamas pirštas ir tada jau jie užvaromi ant platinos lapelių. Antrasai aparatas susideda iš stiklo indo su stipriu vario sulfato ($CuSO_4$) tirpalu, į kurį įleisti du gryno vario elektrodai. Trečiasai aparatas susideda iš platinos tiglio arba puodelio, pripilto stipraus vadinamojo pragaro akmenuko (Ag NO_3 sidabro azoto rūgšties druska, vartojama prideginimui) tirpalo, į kurį įleistas sidabro stiebas. To sidabro stiebo galas skystime apvyniojamas drobe. Platinos tiglis arba puodelis, padėtas ant metalinio staliuko arba ant metalinės grandies, kuri turi stiklo kojas. Visi tie trys aparatai sujungti iš eilės, kaip rodo 201 piešinys, ir srovė nuo batarejos B eina



201 pieš.

iš pradžios per tangens galvanometrą, paskui eina per sieros rūgštį, per vario sulfatą ir per sidabro druską. Ten, kur srovė įeina į pirmąjį aparatą, vadinasi, graduotam cilindery, užmautam ant + elektrodo, renkasi deguonis, kur srovė išeina iš to aparato, t. y. graduotam cilindery ant — elektrodo renkasi vandenilis, ten kur srovė įeina į vario sulfatą, ant vario plokštelės pasirodo deguonis ir dalinai tirpsta varis, ten, kur srovė išeina ant vario plokštelės, nugula varis, ir pagaliau trečiajam inde ant sidabro stiebo (+ elektrodo) pasirodo deguonis ir dalinai sidabras tirpsta, o ant platinos puodelio sienų (— elektrodas) nugula sidabras. Srovė J leidžiama per t sekundų laiko ir išpylus iš platinos puodelio skystimą, išplovus ir išdžiovinus jį, jis atsveriamas. Iš svorių skirtumo po bandymo ir prieš bandymą mes surasime nugulusį sidabro kiekį M_{Ag}. Taip pat iš vidurinio indo išimamas vario elektrodas, nuplaunamas, išdžiovinamas ir atsveriamas. Skirtumas svorių prieš ir po bandymų duos mums nugulusį vario kiekį M_{Cu}. Graduotuose cilinderiuose mes visų pirma konstatuosime, kad atsi-

skyrusio vandenilio tūris ant neigiamo elektrodo yra dusyk didesnis, kaip atsiskyrusio deguonio tūris ant teigiamo elektrodo. Vadinasi, einant srovei per sieros rūgšties tirpalą, vandenilis ir deguonis atsiskiria tokiuose tūrio santykiuose, kaip jie sudaro vandenį. Išeina taip, kad einant srovei per sieros rūgšties tirpalą srovė suskaldo ne sieros rūgštį, bet vandenį. Mes vėliau pamatysime, kad deguonis čia yra vadinamas antrinės reakcijos produktas. Išmatavę deguonio ir vandenilio tūrius, spaudimus ir temperatūrą, mes apskaitysime jų kiekius žiūrėdami jų tankumų, ir šito eksperimento išdavą gausime tokius atskirų elementų kiekių santykius: $M_{H_2} : M_{O_2} : M_{Cu} : M_{Ag} = 1 : 8 : 31{,}8 : 107{,}93$. Vadinasi, ir šituo atveju srovės atskeltų elementų kiekiai santykiuoja kaip jų cheminiai ekvivalentai.

Pažymėję elektrocheminį elemento ekvivalentą raide e, srovę amperais raide J ir laiką sekundomis raide t, mes galime šitas abidvi Faraday'aus išvadas, arba vadinamus Faraday'aus dėsnius, sutraukti vienu dėsniu ir išreikšti jį šia formula: $M = e\,J\,t$. Čia M reiškia atidėtą ant elektrodo arba nutirpusį nuo elektrodo elemento kiekį, atsimenant, kad elektroteigiami elementai, t. y. metalai nugula ant — elektrodo, o elektroneigiami elementai, t. y. metaloidai, nugula arba pasirodo ant + elektrodo. Reikia vienok pasakyti, kad šitas Faraday'aus dėsnis turi bendros reikšmės ir liečia visokius chemijos procesus, kuriuos varo elektros srovė. Vienu žodžiu, visais atvejais tos ar kitos cheminės atmainos kiekis yra proporcingas visam praėjusiam per medžiagą elektros kiekiui ir sudarytos medžiagos chemiškam ekvivalentui. Kadangi einant srovei per antros rūšies laidininkus vyksta cheminis skilimas, tai Faraday'us pavadino šitą procesą elektrolize (nuo graikų žodžio (λύω) „liuo" — atrišu, atleidžiu) ir antros rūšies laidininkus elektrolitais, skaitant elektrolitais ne tik šarmų, rūgščių ir druskų tirpalus vandeny, bet ir šarmus, rūgštis ir druskas skystoje būklėje prie augštų temperatūrų. Einant srovei, sakysime, per cinko chloridą, cinkas nugula ant — elektrodo, vadinasi, jis traukiamas prie — elektrodo, o chloras atsiskiria ant + elektrodo, vadinasi, jis traukiamas prie to + elektrodo. Taigi Faraday'us manė, kad vykstant elektrolizei cinko atomai yra užtaisyti + elektra, o chloro atomai — elektra, ir užtaisytus taip atomus jis pavadino ionais (nuo graikų žodžio „ion" — keleivis), nes jis manė, kad elektrolituose elektra skleidžiasi ne laidumo keliu, bet konvekcijos keliu. Jo nuomone, elektros srovė elektrolituose yra tas, kad teigiami ionai arba kationai, kaip juos pavadino Faraday'us, neša teigiamą elektrą — elektrodo kryptimi, o neigiami ionai, arba anionai, neša neigiamą elektrą priešinga kryptimi, būtent, į teigiamo elektrodo pusę. Teigiamą elektrodą Faraday'us pavadino anodu, o neigiamą katodu. Išdėstyta čia Faraday'aus terminologija įsivyravo fizikoje ir vartojama ir šiandien.

Ionizuotoje būklėje arba ionais gali būti tiek atomai, tiek ir atomų grupės, kurias chemikai vadina radikalais. Taip, einant elektros srovei per sieros rūgštį $H_2\,SO_4$ arba per azoto rūgštį HNO_3, neigiama elektra pirmuoju atveju neša anionas $SO_4^{=}$, o antruoju atveju anionas NO_3^{-}, o teigiama elektra ir pirmuoju ir antruoju atveju neša kationai H^{+}.

Kaip atomai, taip ir radikalai būna vienvalentingi, dvivalentingi, trivalentingi ir t. t. ir dažnai tas pats atomas būna tai vienvalentingas, tai dvivalentingas, kaip, sakysime, vario atomas, arba tai dvivalentingas, tai trivalentingas, kaip, sakysime, geležies atomas. Taigi ir ionai būna vienvalentingi, dvivalentingi, trivalentingi ir t. t. ir to paties iono valentingumas gali kisti. Duosime čia keletą pavyzdžių. Na Cl, K Cl, Li Cl, $Na\,NO_3$ duoda vienvalentingus kationus Na^{+}, K^{+}, Li^{+} ir vienvalentingus anionus Cl^{-} ir NO_3^{-}. $Zn\,Cl_2$, $Pb\,J_2$, $Ca\,(OH)_2$ duoda dvivalentingus kationus Zn^{++}, Pb^{++}, Ca^{++} ir kiekvienu atveju po du vienvalentingus anionus, būtent $Cl^{-} + Cl^{-}$, $I^{-} + I^{-}$ ir $OH^{-} + OH^{-}$. Tuo tarpu $Cu\,SO_4$, $Fe\,SO_4$ duoda dvivalentingus kationus Cu^{++} ir Fe^{++} ir dvivalentingus anionus

$SO_4^{=}$. Visais atvejais + elektros kiekis, kurį neša su savimi kationai ir atiduoda katodui, yra lygus — elektros kiekiui, kurį neša su savimi anionai ir atiduoda anodui (ir kationai ir anionai pasiekę elektrodus išsilydina, t. y. nustoja savo elektros įlydžių). Todel visiems vienvalentingiems ionams priskirtas tas pats elektros kiekis, pažymėtas ženklu + kationams ir ženklu — anionams. Dvivalentingi ionai turi du tokius elektros kiekius ir todel elektrizuojant, sakysime, Cu SO_4 mes turime kationą Cu^{++} ir aniona $SO_4^{=}$, o elektrizuojant Zn Cl_2 mes turime kationą Zn^{++} ir du vienvalentingus anionus Cl^{-} + Cl^{-}. Elektrizuodami H_2 SO_4 mes turime du vienvalentingus kationus H^{+} + H^{+} ir vieną dvivalentingą anioną $SO_4^{=}$. Taigi mes čia imame + arba — elektros įlydį vienvalentingo iono (kitaip sakant, elektros kiekį, surištą arba sujungtą su vienu gramekvivalentu atomo arba radikalo) vienetu, ir visuomet imame skaičių šitų vienetų, lygų iono valentingumui. Tai yra tiesioginė išvada iš Faraday'aus elektrolizės dėsnio. Iš tikrųjų, einant šituo dėsniu tas pats elektros kiekis, perėjęs per įvairius elektrolitus, atideda ant elektrodų arba perveda į tirpalo būklę, arba pagaliau įvykdo kitą kokią chemijos reakciją tokiais medžiagos kiekiais, kurie santykiuoja kaip cheminiai ekvivalentai. Tai reiškia, kad visokių ionų ekvivalentai turi to paties didumo elektros įlydžius (+ arba —). Taip vandenilio, kalio, chloro, natrio, bromo ir t. t. ionai turi tą patį įlydį (natris, kalis turi + įlydį, chloras, bromas turi — įlydį), nes visi tie ionai vienvalentingi, kitaip sakant, jų atominis svoris yra lygus cheminiam ekvivalentui, o cinko, kalcio, vario ionai turi du tokius įlydžius, nes tie ionai yra dvivalentingi, kitaip sakant, jų atominiai svoriai yra lygūs dviem cheminiams ekvivalentams. Mes jau anksčiau matėme, kad 1 amperas per 1 sekundą, t. y. vienas kulonas elektros einant elektros srovei per silpną sieros rūgštį atskiria 0,00001039 gramų vandenilio ant katodo. Vadinasi, kad toksai kiekis vandenilio iono yra sujungtas su 1 kulonu elektros. Kadangi vandenilio atominis svoris yra lygus 1,008 ir vandenilis yra vienvalentingas elementas, tai vandenilio gramionas turi 1,008 : 0,00001039 = 96540 kulonų. Tą patį elektros kiekį mes gausime visiems vienvalentingiems ionams, padarę apskaitymą eidami jų elektrocheminiais ekvivalentais. Šitas skaičius fizikoje žymimas ženklu F (pirmutinė raidė Faraday'aus pavardės) ir vadinamas 1 faraday'us. Taigi dvivalentingi ionai turės du tokius F, trivalentingi ionai 3F ir t. t . Vadinasi, praleidus per elektrolitą 96540 kulonų = 1F įvyks ta ar kita cheminė atmaina kieky vieno gramekvivalento, praleidus 2F kieky 2 gramekvivalentus ir t. t.

Kaip jau paminėta, to paties atomo valentingumas gali būti įvairus. Pavyzdžiui, varis su chloru duoda dvi druskas, būtent, vario chlorirą Cu Cl ir vario chloridą $CuCl_2$. Pirmuoju atveju vario ionai vienvalentingi Cu^{+}, o antruoju atveju dvivalentingi Cu^{++}. Taip pat geležis duoda du junginius su chloru, būtent, Fe Cl_2 geležies chlorirą ir Fe Cl_3 geležies chloridą. Pirmuoju atveju geležies ionas dvivalentingas Fe^{++}, antruoju trivalentingas Fe^{+++}. Tai rodo, kad 1F vario ir geležies chlorirų tirpaluose atidės ant katodo daugiau vario ir geležies, kaip chloridų tirpaluose (vario dusyk daugiau, o geležies 1,5 sykių daugiau). Iš viso to galime padaryti dar vieną išvadą. Į ionus galima žiūrėti kaipo į atomų arba atomų grupių junginius su elektra. Taigi matyti, kad tas pats atomas arba atomų grupė gali būti sujungti su 1F, 2F, 3F ir t. t.. Vadinasi, elektros kiekiai, kurie jungiasi su tuo pačiu medžiagos kiekiu (sakysime, su 1 gramatomu) santykiuoja kaip eilė nedidelių sveikų skaičių. Pasidaro, kad Daltono kartotinių santykių dėsnis veikia ne tik elementų chemijos junginius, bet ir medžiagos ir elektros junginius. Iš šito Daltono dėsnio savo laiku buvo padaryta išvada apie atominę medžiagos struktūrą. Iš augščiau išdėstyto Faraday'aus

elektrolizės dėsnio su visomis jo konsekvencijomis 1881 metais didelis Vokietijos fizikas Helmholtza's padarė išvadą, kad elektra, kaip ir medžiaga, turi atominę struktūrą. Helmholtza's tuomet skaitė paskaitą Karališkam Institute Londone, pagerbdamas Faraday'ų, ir pareiškė šitą mintį kaipo hipotezę. Mes vėliau pamatysime, kad, praslinkus keliolikai metų, Helmholtz'o hipotezė tapo faktu, suradus anglui Thomsonui neigiamos elektros atomą, t. y. elektroną.

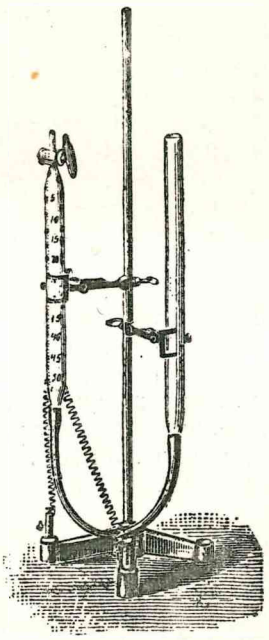
Vykstant elektrolizei KCl skystoje būklėje prie augštų temperatūrų kalio ionai pasiekia katodą, katodo — elektra neutralizuoja kationo + įlydį, ir nustojęs įlydžio ionas tampa kalio atomu, o jau iš tų atomų susidaro metalas kalis, kuris skystoje būklėje prie augštos temperatūros ir atsiskiria iš druskos ant katodo. Taip pat chloro ionas pasiekia anodą, jo — įlydis neutralizuojamas anodo + elektra. Nustojęs įlydžio chloro ionas virsta chloro atomu, o du tokie chloro atomai susijungia ir sudaro chloro molekulą. Todel vykstant elektrolizei ant anodo atsiskiria chloras dujinėje būklėje. Šituo atveju metalas kalis ir dujinis chloras vadinasi pirmaeiliai arba pirminiai elektrolizės produktai. Jeigu mes elektrolizuosime stiprų tirpalą kalį chloro vandeny, tai ant anodo atsiskirs taip pat chloras dujinėje būklėje, kaip ir elektrizuojant druską KCl, sutirpintą prie augštos temperatūros. Bet kalio ionas vandens tirpale, pasiekęs katodą ir nustojęs savo elektros įlydžio, virs metalu kaliu, kuris reaguos su vandeniu, būtent $K + HOH = KOH + H$. Taigi katodo srityje susidarys kalio šarmas, o ant katodo pasirodys vandenilis dujinėje būklėje, susidarant iš dviejų vandenilio atomų vienai vandenilio molekulai. Taigi, čia mes turėsime antrinį elektrolizės produktą del augščiau duotos reakcijos, kuri vyksta katodo srityje. Todel elektrizuojant vandens tirpalus įvairių druskų šarminių metalų ir žemės šarminių metalų ant katodo visuomet atsiskiria vandenilis, o katodo srityje susitaupo šarmas, o ant anodo atsiskiria arba haloidas arba deguonis. Pavyzdžiui, elektrizuojant Glaubero druską $Na_2 SO_4$ natrio ionai, pasiekę katodą, virs natrio atomais, išstums iš vandens vandenilį ir sudarys katodo srityje natrio šarmą, o anionas $SO_4^{=}$, pasiekęs anodą, nustos savo abiejų įlydžių ir virs radikalu SO_4, kuris negali egzistuoti kaipo toks ir tuojau reaguoja su vandeniu šitaip: $SO_4 + H_2O = H_2 SO_4 + O$. Taigi anodo srityje taupysis sieros rūgštis, o ant anodo atsiskirs deguonis dujinėje būklėje, nes iš dviejų atomų deguonio susidarys viena molekula deguonio. Kai kada trys deguonio atomai sudarys vieną ozono molekulą. Todel elektrizuojant sulfatus, o ypatingai sieros rūgštį, labai dažnai ant anodo jaučiamas griežtas ozono kvapas, nes susidaro kai kada ligi 20% ozono. Leidžiant elektros srovę per sieros rūgšties tirpalą, ant katodo atsiskiria vandenilis, o ant anodo deguonis, nes ir čia anodą pasieks anionas $SO_4^{=}$, kuris nustojęs savo įlydžių reaguos su vandeniu ir duos deguonį iš vienos pusės ir sieros rūgštį iš antros pusės. Taigi, elektrizuojant sieros rūgšties ir kitų rūgščių tirpalus vandeny, lygiai kaip ir tų rūgščių šarminių metalų ir žemės šarminių metalų druskų tirpalus, visuomet ant katodo atsiranda vandenilis, o ant anodo deguonis, ir kaip tik tokioje proporcijoje, kaip tie du elementai sudaro vandenį. Taigi matyti, kad paimtas sieros rūgšties arba druskos kiekis nekinta, o kinta, būtent mažėja, vandens kiekis. Vadinasi, čionai elektros srovė netiesioginiu būdu skaldo vandenį.

Kaip jau mes matėme elektrizuojant druskas šarminių ir žemės šarminių metalų vandeny, katodo srityje tauposi šarmas, o anodo srityje rūgštis. Vadinasi, vykstant elektrolizei mes turėsim darbo su druskos koncentracijos atmainomis katodo ir anodo srityse. Einant Faraday'aus elektrolizės dėsniu, šarmo ir druskos kiekiai, kurie susitaupys katodo ir anodo srityse, santykiuos tarp savęs kaip to šarmo ir rūgšties cheminiai ekvivalentai. Varydami elektrolizę ištirpintų prie augštų temperatūrų druskų mes ant elektrodų turėsime dažniausiai pirmykščių elektrolizės produktų. Vandens skiediniuose mes dažniausiai turėsime ant elektrodų antrinių elektrolizės produktų del chemijos reakcijų, vykstančių katodo arba anodo srityje. Be to, kaip mes matysime vėliau, mes turėsime dar reakcijas tarp anodo srities produktų ir katodo srities produktų. Pavyzdžiui, chloras, atsiskyręs ant anodo, dalinai tirpsta elektrolite, difuzijos keliu skleidžiasi jame ir pasiekia katodo sritį, kur jis ir reaguoja su susitaupusiu ten šarmu, sakysime

su NaOH einant lygtimi $NaOH + Cl_2 = NaOCl + HCl$, taip kad elektrolizės keliu galima gaminti druska NaOCl, kuri tarnauja baltinamąja medžiaga.

Susitaupymu anodo srityje rūgšties ir katodo srityje šarmo elektrizuojant druską, sakysime, Na_2SO_4 remiasi vadinamieji polių ieškotojai, t. y. įrankiai, kuriais nustatoma, koksai laidininkas eina nuo batarejos arba dinamo mašinos + polio ir koksai nuo — polio. Paprasčiausias padargas šiam tikslui yra sugeriamojo balto popieriaus lakštelis, impregnuotas Glaubero druskos skiediniu, pridėjus keletą lašų fenolftaleino spirite. Norint nustatyti, koksai polis teigiamas ir koksai neigiamas, imamas toksai sugeriamojo popieriaus lakštelis sušlapinus jį vandeniu, ir tas lakštelis paliečiamas vielų galais, prijungtais prie polių. Per lakštelio Glaubero druską eis srovė, vyks elektrolizė ir katodo srityje susitaupys šarmas, kuris ir duos šarmo reakciją su fenolftaleinu, t. y. popieriaus lakštelis katodo srityje pasidarys raudonas. Vadinasi, kur pasirodys raudona spalva, ten mes turėsime vielos galą, prijungtą prie — polio.

Faraday'aus elektrolizės dėsniu remiasi patogūs cheminiai aparatai matuoti elektros kiekiui, perėjusiam per tą ar kitą sistemą per tam tikrą laiką. Šitie aparatai vadinami voltametrais. Iš įvairių šitos rūšies aparatų mes čia aprašysime tris, būtent: perkūnijos dujų voltametrą, sidabro voltametrą ir vario voltametrą (šitie aparatai pavadinti voltametrais, kad vėl būtų pagerbtas Volta, galvanizmo išradėjas). 202 piešinys atvaizduoja perkūnijos dujų voltametrą. Mes čia turime ant štatyvo susisiekiamąjį indą, sudarytą iš dviejų cilindrinių vamzdžių (biurečių), kurių apatiniai galai sujungti kaučuko vamzdžiu. Į vieną iš tų biurečių (padalytų kub. mm.) įlydyta dvi plokštelės tyros metališkos platinos, kurios tarnauja elektrodais. Tos plokštelės prijungtos vielomis prie dviejų bornų (sraigtų), prie kurių galima prijungti galvaninės batarėjos poliai. Viršuje graduota biurėtė baigiasi siauru kaklu, kuris aprūpintas bėgtuvu, taip kad pasukus bėgtuvą galima padaryti susisiekimas tarp atmosferos ir biurėtės vidaus arba atskirti biurėtės vidų nuo atmosferos. Dešinysis vamzdis viršuje atdaras. Atidarius bėgtuvą į dešinįjį vamzdį piliama tyros sieros rūgšties tirpalas vandeny (nuo 10 ligi 20%, lyginamojo svorio nuo 1,07 ligi 1,14), kol lygmė to tirpalo graduotoje biuretėje pasieks biurėtės vidurį. Keldami dabar augštyn dešinįjį vamzdį ant štatyvo mes kelsime elektrolito lygmę, kol elektrolitas pasirodys kakle viršuj bėgtuvo. Tada bėgtuvas uždaromas. Prijungus prie bornų ant štatyvo trikojo batareją bent iš dviejų akumulatorių arba stipresnę batareją, vyks elektrolizė ir suskaldys, kaip jau mes žinome, vandenį, duodama ant dviejų tūrių vandenilio vieną tūrį deguonio. Šitas mišinys smarkiai sprogsta nuo liepsnos, kibirkšties ir nuo katalitiško veikimo ir todel reikia su juo elgtis atsargiai. Mišinys todel ir vadinasi perkūnijos dujos. Šitas mišinys rinksis viršutinėje dalyje biurėtės išspausdamas atatinkamą dalį elektrolito į dešinįjį vamzdį, kurio galas atdaras. Tegu nežinoma srovė ėjo per šitą aparatą per laiką z sekundų ir tegu elektrocheminis perkūnijos dujų ekvivalentas, išreikštas tūrio vienetais, bus v_0. Tai yra tūris kub. cm., kurį išvaro srovė 1 ampero per 1 sekundą. Šitas tūris yra lygus 0,174 cm^3. skaitant prie temperatūros 0^0 ir prie normalinio spaudimo 760 mm., Pertraukus srovę reikia nustatyti dešinysis vamzdis taip (leidžiant jį žemyn arba, reikalui esant, keliant jį augštyn ant štatyvo), kad elektrolito lygmė vienoje ir kitoje susisiekiamo indo šakose būtų ant to paties augščio. Tada mes išmatuosime dujų tūrį V prie barometro parodymo B. Tegu temperatūra elektrolito bus lygi t^0. Tiksliai kalbant, spaudimas dujų bus kiek mažesnis, kaip barometro parodymas B, nes barometro spaudimui bus lygi suma dujų spaudimo ir vandens garų spaudimo augščiau sieros rūgšties tirpalo. Jeigu temperatūrą t atatinka sočių vandens garų spaudimas p, tai temperatūrą t atatinka garų spau-



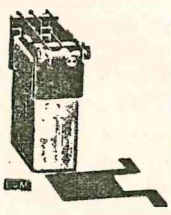
202 pieš.

dimas augščiau 10 — 20 % sieros rūgšties tirpalo 0,9 p. Vadinasi, perkūnijos dujų spaudimas bus B — 0,9 p = B^1. Taigi, mes turime V cm^3. dujų prie spaudimo B^1 ir temperatūros t. Prie tempatūros 0^0 ir normalinio spaudimo 760 mm. šitų dujų tūris bus $V_0 = \frac{V.\ B^1}{760\ (1+\alpha\ t)}$. Čia α reiškia duju skėtimosi koeficientą. Dabar mes turime: $V_0 = v_0$ i. z. Iš to: $i = \frac{V_0}{v_0\ z} = \frac{V_0}{0{,}174.\ z} = 5{,}75\ \frac{V_0}{z}$ amperų. Taigi, išmatavus tūrį perkūnijos dujų ir redukavus šitą tūrį temperatūrai 0^0 ir normaliniam spaudimui, bus surasta srovė amperais.

Netikslumas čia dažnai pareina nuo to, kad deguonis dalinai tirpsta elektrolite. Tirpsta, nors mažiau, ir vandenilis. Todel, kad neišeitų permažas tūris dujų, reikia prieš atliekant pagrindinį bandymą elektrizuoti kurį laiką sieros rūgštis, kad ji pasidarytų soti deguoniu ir vandeniliu.

Dažnai vietoj perkūnijos dujų voltametro vartojamas vandenilio voltametras. Aparatas panašus į atvaizduotą 202 piešiniu, tik skirtumas tas, kad į biuretę įlydytas tik vienas platinos elektrodas, o antras platinos elektrodas įlydytas apačioje į atdarą vamzdį. Platinos elektrodas biureteje prijungiamas prie neigiamo batarejos polio, taip kad dabar uždarytoje biurėtėje, jos viršutinėje dalyje rinksis vandenilis, o deguonis atsiskirs ant anodo atdarame vamzdyje ir eis į orą. Elektrocheminis vandenilio ekvivalentas, išreikštas kub. cm., yra lygus $\frac{0{,}174\ .\ 2}{3} = 0.116$ $cm.^3$ prie temperatūros 0^0 ir normalio spaudimo. Apskaitymas iš redukuoto vandenilio tūrio srovės amperais, kaip jau parodyta su perkūnijos dujomis. Šitais voltametrais galima matuoti gan stiprios srovės ligi keliasdešimt amperų.

Labai tikslus aparatas silpnoms srovėms matuoti ligi 1,5 ampero yra sidabro voltametras. Tasai aparatas atrodo visiškai taip, kaip 201 piešinio dešinioji figūra. Katodu čia būna arba platinos tiglis arba platinos puodelis, anodu sidabro stiebas, kurio galas įleidžiamas į elektrolitą, apvyniotas drobe, kad sidabro dalelės mechaniškai nedribtų nuo šito sidabro anodo, nes vykstant elektrolizei ant anodo, sidabras tirpsta ir del šito tirpimo jo paviršius darosi purus, taip kad nuo jo ima byrėti dalelės. Elektrolitu imamas gan stiprus sidabro nitrato ($Ag\ NO_3$) tirpalas. Tirpalas imamas neutralus. Pabaigus elektrolizę, elektrolitas išpiliamas į tam tikrą bonką, o platinos puodelis arba tiglis išplaunamas iš pradžios destiliuotu vandeniu, paskui spiritu ir išdžiovinus atsveriamas ant precizijos svarstyklių. Tegu ant katodo nugula m gramų sidabro. Tad $m = e\ i\ t$, iš kur $i = \frac{m}{et}$. Čia e reiškia sidabro elektrocheminį ekvivalentą ir t elektrolizės laiką sekundomis. Šitas voltametras nepigus, nes tenka eikvoti sidabras. Tiesa, šitas sidabras galima atstatyti, ir vėl iš jo nulieti sidabrinis stiebas anodui, bet visgi tai gan keblus darbas. Todel sidabro voltametras vartojamas ypatingais atsitikimais, kada reikia gauti ypatingai tikslių rezultatų.



203 pieš.

Laboratorijoj ir praktikoj dažniausiai vartojama vario voltametras, kurį atvaizduoja 203 piešinys. Tai yra cilindrinis arba plokščias indas, į kurį įdėtos trys tyro vario plokštelės. Abidvi kraštutinės plokštelės, sujungtos tarp savęs skersa vario plokštele, sudaro anodą, kuris aprūpintas bornu, prie kurio ir prijungiama viela nuo batarejos + polio. Trečia vario plokštelė įdedama į stiklo indą tarp šitų kraštutinių plokštelių, bet taip, kad ji jų neliestų ir užimtų patį vidurį tarp jų. Šita plokštelė yra katodas. Kaipo elektrolitas vario voltametre vartojamas vario sulfato skiedinys primaišius keletą kub. cm. stiprios sieros rūgšties ir spirito. Tai reikalinga, kad būtų išvengta oksidacija ant katodo ir kad galima būtų gauti ant katodo gražus lygus metalinis vario sluogsnis. Pabaigus elektrolizę, katodas ištraukiamas iš indo, nuplaunamas distiliuotu vandeniu, o paskui spiritu. Padegus

spirito likučius ant elektrodo, jis pasidarys pakankamai sausas, kad tuojau galima būtų jis sverti. Iš svorio prieauglio, žinant vario elektrocheminį ekvivalentą ir elektrolizės laiką, mes apskaitysime srovę amperais, kaip jau parodyta prie sidabro. Labai tinkamas vario voltametro elektrolitui receptas šitoks: 15 gramų vario sulfato, 5 gramai koncentruotos sieros rūgšties, 5 kub. cm. spirito (stipriausias spiritas, kurį galima gauti) ir 100 kub. cm. destiliuoto vandens. Iš pradžios tirpinamas vandeny vario sulfatas, paskui pridedama prie jo sieros rūgšties ir pagaliau spirito. Pakanka 0,1 volto įtempimo, kad vario voltametre eitų elektrolizė. Čia galima matuoti sroves ligi 2 amperų. Stipresnėms srovėms rezultatai nebetikslūs.

Faraday'us manė, kad ionai susidaro elektrolite paleidus per jį srovę. Jis manė, kad įleidus į elektrolitą du elektrodus ir pridėjus prie tų elektrodų potencialų skirtumą, vyksta procesas panašus į dielektrinę polarizaciją, kuri aprašyta 7 §, būtent: druska arba kitas koks cheminis junginys įtakoje elektrostatinio tempimo skįla į elektroteigiamą ir elektroneigiamą dalis, ir persiskyrusios tos dalys ima slinkti viena anodo link, antra katodo link. Šita Faraday'aus nuomonė neatatinka tikrenybės, nes įdėję į indą su elektrolitu du elektrodus ir prijungę juos prie batarejos polių, mes gausime elektros srovę prie mažiausio įtempimo tarp elektrodų ir ta srovė augs proporcingai įtempimui tarp elektrodų. Taigi, srovė elektrolituose visai seka Ohmo dėsniu. Bet elektrolizės produktai pasirodys ant elektrodų tik pasiekus tam tikrą potencialų skirtumą tarp elektrodų, kitaip sakant, pasiekus tam tikrą išlydymo potencialą anionui iš vienos pusės ir kationui iš antros. Todel Clausius, pripažinęs Faraday'aus nuomonę faktu, kad elektra skleidžiasi elektrolituose konvekcijos keliu, kad + elektra nešama kationais viena kryptimi, o — elektra kita kryptimi, priverstas buvo paskelbti hipotezę, kad kiekvienam elektrolite visuomet yra daugiau ar mažiau laisvų ionų, nes kitaip negalima būtų visiškai suprasti, kad konvekcinė srovė randasi elektrolite prie mažiausio potencialų skirtumo tarp elektrodų. Vienu žodžiu, Clausius daro hipotezę, kad tirpstant, sakysime, paprastai druskai Na Cl vandeny ji dalinai skįla į ionus Na ir Cl (kad sutaupytume vietos, žymėsime kationus taškais, o anionus kabutėmis, kaip tai dabar fizikų yra įprasta). Kitaip sakant, Clausiuso nuomone, tirpstant druskai vandeny, vyksta reakcija: $Na\,Cl \rightleftarrows Na' + Cl'$. Šita reakcija visais atžvilgiais yra panaši į disociaciją ir todel dar Clausius pavartojo tokioms reakcijoms terminą „elektrolitinė disociacija". Kas čia pasakyta apie stalo druską, tinka ir visoms kitoms druskoms, lygiai kaip ir rūgštims ir šarmams. Faktas yra, kad tyras vanduo yra labai blogas elektros laidininkas, taip pat ir tyros rūgštys ir šarmai, jeigu jie skysti prie paprastos temperatūros, irgi yra blogi elektros laidininkai. Taip pat ir druskos kietoje būklėje prie paprastų temperatūrų yra blogi elektros laidininkai. Tuo tarpu šitų cheminių junginių tirpalai vandeny yra geri elektros laidininkai. Vadinasi, tirpstant šitiems cheminiams junginiams vandeny, vyksta kažkokia atmaina, kuri suteikia jiems ypatingą būklę, su kuria yra surištas geras elektros laidumas. Šitas faktas yra rimtas argumentas už Clausiuso hipotezę. Pradžioj šitai hipotezei buvo daramas priekaištas, kad atomai natrio arba kalio, arba kalcio, negali būti laisvoje būklėje vandeny, nes jie tuojau reaguotų su vandeniu sudarydami šarmus ir atleisdami vandenilį. Bet šitas priekaištas buvo atremtas nurodymu, kad laisvas natrio arba kalcio atomas ir natrio arba kalio ionas yra du skirtingi dalykai, nes ionas yra atomas arba atomų grupė su elektros įlydžiu, ir būdamas toks savo energijos turiniu skiriasi nuo laisvo atomo arba nuo atomų grupės. Tada buvo statomas klausimas, kokios jėgos veda prie elektrolitinės disociacijos tirpinant šarmus, arba druskas, arba rūgštis vandeny? 7 § kalbėdami apie dielektrinę polarizaciją, mes jau parodėme, kad junginiai, kurie sudaryti iš dviejų dalių, iš elektroteigiamos ir elektroneigiamos, patekę į elektrostatinį lauką tarp dviejų užlydytų + ir — elektra konduktorių, gali visai suskilti, ir juo lengviau, juo didesnė dielektrinė konstanta dielektriko, kuriame susidaro elektrostatinis laukas, nes juo didesnė dielektriko dielektrinė konstanta, juo silpnesni darosi ryšiai, sudaryti jėgų linijomis, einant Coulombo dėsniu $f = \frac{c^2}{K r^2}$ (čia K reiškia dielektrinę konstantą). Atsiminkime, kad vanduo charakterizuojasi ypatingai didele dielektrine konstanta, būtent, šita konstanta vandeniui yra lygi 81. Vadinasi,

elektrostatinis laukas tarp molekulos elektroteigiamos ir elektroneigiamos dalių vandeny darosi 81 sykį silpnesnis; kitaip sakant, tiek sykių silpnėja ryšiai molekulos dalių, kada ji patenka į vandenį. Tai visa turint galvoj paaiškėja ypatingas veikimas vandens druskoms, šarmams ir rūgštims, kurios vandeny tirpsta. Reikia vienok pasakyti, kad ir spirito dielektrinė konstanta yra gan didelė, apie 50. Vienok spirito disociacijos galia yra daug sykių silpnesnė, kaip vandens. Taip pat cyano rūgšties (HCN) dielektrinė konstanta yra dar didesnė kaip vandens, butent 95, tuo tarpu jos disociacijos galia yra dar silpnesnė kaip spirito. Taigi galima pripažinti didelę disociacijos galią vandeniui saryšy su jo didele dielektrine konstanta, bet negali būti abejonės, kad čia turi reikšmės dar ir kiti šiandien nenustatyti veiksniai. Taip pat, laikant ionus atomais su įlydžiais, negalima tų įlydžių išaiškinti tik energijos atmaina, kuri įvyksta tirpstant elektrolitui vandeny, nes, sakysime, šilimos efektas, tirpstant vandeny paprastai druskai, yra labai menkas. Vienu žodžiu, tikra priežastis ir mechanizmas elektrolitinės disociacijos neaiškūs dar ir šiandien ir todel suprantama, kad rimti fizikai del šitos teorijos pradžioje buvo nusistatę labai skeptiškai.

Bet elektrolitinės disociacijos teorijos reikalas ir net būtenybė, nepaisant jos priežasčių neaiškumo, pasirodė kiek vėliau, kada didelis Olandų fiziko-chemikas van't Hoff'as paskelbė (1887 metais) savo teoriją osmotinio spaudimo (žiūr. „Skysčiai ir Dujos" 52 — 55 puslap.). Osmotinis spaudimas, kuris galima išmatuoti įvairiais būdais, seka dujų dėsniais bent kol mes turime darbo su silpnais tirpalais, sakysime ligi 5 — 6%. Iš to fakto van't Hoff'as padarė išvadą, kad tirpstant vandeny kieti kūnai pereina į būklę, galima sakyti, identišką su dujų būkle ir todel tirpalų būklėje, bent kol tie tirpalai nestipri, galima jiems taikyti dujų dėsniai, t. y. Boyle-Mariotto ir Gay-Lussaco dėsniai ir vadinamas Avogardo dėsnis, kuris sako, kad grammolekulos įvairių medžiagų dujinėje būklėje, esant tam pačiam spaudimui ir tai pačiai temperatūrai, užima tą pati tūrį, arba atbulai, užimdamos tą pati tūrį ir esant tai pačiai temperatūrai, visokios grammolekulos reiškia tą patį spaudimą. Vadinasi, jeigu mes turėsime tam pačiam tūry, sakysime, 1 litre vandens, ištirpintas grammolekulas, pavyzdžiui, cukraus, glicerino, vyno rūgšties, tai visi tie tirpalai charakterizuosis tuo pačiu osmotiniu spaudimu. Taigi, pažymėję osmotinį spaudimą raide P ir tūrį vandens, kuriame ištirpinta 1 grammolekula medžiagos (1 grammolekula, tai reiškia toks medžiagos gramų skaičius, kuris yra lygus medžiagos molekuliniam svoriui) raide V, mes turėsime $PV = RT$ arba $P = \frac{RT}{V} = RTc$, nes $\frac{1}{V}$ tai yra dydis, atvirkščias tūriui, yra kalbamuoju atveju tirpalo koncentracija c, nes mes čia turime 1 grammolekulą tūryje V.

Reikia pasakyti, kad tirpinant kitus kūnus vandeny (arba kitam skystime) skystimo garų spaudimas mažėja. Mes turime garų spaudimo depresiją. Sąryšy su šita garų spaudimo depresija reiškiasi virimo temperatūros pakilimas ir ledo tirpimo temperatūros depresija. Bandymai rodo, kad garų spaudimo kritimas, virimo temperatūros pakilimas ir ledo tirpimo temperatūros depresija yra proporcingi koncentracijai ir, vadinasi, osmotiniam spaudimui. Kitaip sakant, visi tokie tirpalai, kurie charakterizuojasi tuo pačiu osmotiniu spaudimu, turi tą patį garų spaudimą, verda prie tos pačios temperatūros ir, šaldant juos, pasirodo ledas prie tos pačios temperatūros. Bet tai bus tokie tirpalai, kurie, sakysime, vienam litre turi tą patį skaičių grammolekulų įvairių medžiagų. Šita išvada remiasi Raoult'o ir kitų eksperimentais. Be to, ji turi termodinaminį pagrindą.

Bet minėta Raoult'o (Raulio) ir kitų fiziko-chemikų tyrinėjimai tuo pačiu laiku parodė, kad visos neorganinės druskos, rūgštys ir bazės, vadinasi, visi geri elektros laidininkai vandeny apsilenkia su van't Hoffo dėsniu, būtent, minėtų junginiu osmotinis spaudimas grammolekuliniuose santykiuose vandeny būna du ir net tris sykius didesnis kaip reikalauja van't Hoff'o teorija. Šitiems junginiams van't Hoff'o lygtis reikia parašyti šitaip: $P = iRTc$. Čia $i > 1$. Visi šitie junginiai yra elektrolitai ir, vadinasi, reikia manyti, kad jų apsilenkimas su van't Hoff'o teorija yra surištas su jų elektros laidumu. Aplamai, van't Hoff'o teorija konstatuoja, kad osmotinis spudimas tos ar kitos medžiagos visiškai nepareina nuo tos medžiagos prigimties, o tik nuo molekulų skaičiaus duotame

tūryje. Taigi, jeigu skaitant grammolekulai osmotinis spaudimas neorganinių druskų, rūgščių arba šarmų yra didesnis, kaip osmotinis spaudimas neelektrolitų, tai yra tokių junginių, kaip cukrus, glicerinas, gliukoza ir panašūs, kurie blogai leidžia elektra, tad tenka padaryti išvada, kad tirpstant grammolekulai elektrolitų molekulų arba individuumų skaičius didėja, vadinasi, reikia skaitytis su molekulos disociacija. Tegu mes turime duotame vandens tūryje m + n molekulų druskos ir tegu n molekulų disociuota. Sakysime dar, kad molekulai disociuojant iš jos susidaro k individuumų. Tad $i = \frac{m + nk}{m + n}$. Žodžiu, koeficientas i yra lygus santykiui visų individuumų, esančių tirpale su paimtu tirpinimui molekulų skaičiumi. Santykis disociuotų molekulų n su skaičiumi visų paimtų molekulų m + n, vadinasi disociacijos laipsnis, t. y. $\alpha = \frac{n}{m + n}$. Iš šitos lygties bus $m = \frac{n\ (1 - \alpha)}{\alpha}$. Pakeisdami m pirmoje lygtyje šita verte mes gausime $i = \frac{1 - \alpha + \alpha k}{1 - \alpha + \alpha} =$ $= 1 + \alpha\ (k - 1)$. Vadinasi, nustačiustuo ar kitu būdu disociacijos laipsnis α, ir žinant, kiek individuumų duoda disocijuojanti molekula, galima bus apskaityti koeficientas i, ir tokiu būdu pritaikyti ir panašioms medžiagoms van't Hoff'o teorija.

1876 metais Kohlrausch'as paskelbė darbą apie elektrolitų elektros laidumą. Tasai darbas apėmė daugybę įvairių elektrolitų. Tų elektrolitų laidumas buvo išmatuotas plačiose koncentracijos ribose Priminsime, kad specifinis medžiagos elektros laidumas yra atvirkščias dydis specifinei medžiagos varžai, kitaip sakant, tai yra elektros srovė, kuri eina per sluogsnį medžiagos 1 cm. storumo ir 1 cm.^{2} skerspjūvio ploto, kada potencialų kritimas, skaitant ant 1 cm., yra lygus 1 voltui. Žodžiu, specifinis laidumas yra laidumas 1 kub. cm., medžiagos prie 1 volto potencialo kritimo tarp kubiko šonų. Bet įvairioms koncentracijoms mes turėsime tam pačiam kub. cm. įvairius molekulų skaičius ir todel, kad pastebėtume, kas darosi medžiagos molekulai, kada koncentracija mažėja arba, kitaip sakant, kada praskiedimas didėja, paprastai dalijame specifinį laidumą į koncentraciją. Pažymėsime specifinį laidumą raide l ir koncentraciją grammolekulomis arba gramekvivalentais raide c. Tad $\frac{l}{c} = lv$, vadinasi, molekulinis arba ekvivalentingas laidumas, nes v yra tas vandens tūris, kuriame ištirpinta 1 grammolekula arba 1 gramekvivalentas. Kohlrausch'as savo tyrinėjimais konstatavo, kad silpnėjant koncentracijai arba didėjant praskiedimui elektrolitų specifinis laidumas mažėja, bet ekvivalentingas laidumas (arba molekulinis laidumas) didėja ir daugumai elektrolitų prie didelio praskiedimo, sakysime 1000 arba 10000 litrų vandens vienam gramekvivalentui, pasiekia pastovų dydį. Einant Faraday'u, elektros srovė elektrolituose yra + ir — elektros judėjimas priešingomis kryptimis su ionais, t. y. elektrolitų elektros laidumas pareina nuo ionų judėjimo ir yra lygus sumai kationo ir aniono judėjimų. Pažymėsime relatyvų kationo judėjimą, iši kštą atvirkščiais ohmais, raide U_c ir aniono raide V_a. Tad Kohlrausch'o tyrinėjimo vaisius galima išreikšti šiuo santykiu: $\lambda\infty = U_c + V_a$. Čia $\lambda\infty$ reiškia ekvivalentingą (arba molekulinį) laidumą prie didelio (begalinio) praskiedimo. Šita išvada žinoma Kohlrausch'o dėsniu nepriklausomo iono judrumo. Tasai dėsnis konstatuoja, kad elektrolitų elektros laidumas, apskaitytas gramekvivalentui arba grammolekulai, addityvinis dalykas. Bet šitas rezultatas suprantamas tik priimant elektrolitinės disociacijos teoriją, ir todel didelis Skandinavijos fizikas Svante Arrhenius, norėdamas suderinti elektrolitų ypatingą elgesį su van't Hoffo teorija, atgaivino elektrolitinę disociacijos teoriją. Arrhenius parodė, kaip galima apskaityti koeficientas i remiantis laidumo matavimais. Pažymėsime raide V tūrį, kuriame randasi viena grammolekula elektrolito, ir disociacijos laipsnį raide α. Toliau, pažymėsime raide u_c kationo greitumą cm. prie potencialo kritimo 1 voltas, skaitant 1-am cm. ir aniono greitumą tokiomis pat sąlygomis raide v_a. Įsivaizduokim du elektrodus atokume 1 cm. vienas nuo antrojo ir 1 cm.^{2} ploto kiekvienas elektrodas. Vadinasi, mes turėsime tarp tų elektrodų elektrolitą vandens tūryje 1 cm.^{3}. Tegu prie elektrodų

pridėta elektrovaromoji jėga E voltų. Tad einant Ohmo dėsniu $I = \frac{E}{R} = E.\,l.$ Cia R reiškia specifinę medžiagos varžą. Tą pačią srovę mes galime išreikšti kationo ir aniono judėjimų suma. Mes turime 1 grammolekulą tūryje V cm.^{3}. Tad 1 cm.^{3} mes turime $\frac{1}{V}$ grammolekulų. Kadangi disociacijos laipsnis yra α, tai imant paprasčiausį atsitikimą vienvalentingos druskos kaip Na Cl arba rūgšties, kaip H Cl, mes turėsime $\frac{\alpha}{V}$ kationų vienam cm.^{3} ir tiek pat anionų. Kiekvienas vienvalentingas ionas, kaip jau mes žinome, neša su savimi F kulonų. Taigi kiekvieno kationo elektros laidumas bus F. E. u_c ir kiekvieno aniono elektros laidumas bus F. E. v_a. Dalykas tas, kad greitumai u_e ir v_a skaitomi potencialo kritimui 1 voltas. Jeigu potencialo kritimas bus E voltų, tad tie greitumai bus atatinkamai didesni, būtent, E. u_c ir E. v_a. Kadangi mes turime 1 cm.^{3} $\frac{\alpha}{v}$ kationų ir anionų, tai suma jų laidumų bus $\frac{\alpha}{V}$ FE $(u_c + v_a) =$ El, nes E . 1 yra srovė I.

Prie labai didelio praskiedimo, kaip jau mes matėme, ekvivalentingas arba molekulinis laidumas virsta pastoviu dydžiu. Vadinasi, mes tada turime pilną molekulos disociaciją į kationą ir anioną. Kitaip sakant, tada $\alpha = 1$. Taigi pažymėjus tūrį, kuris atatinka labai dideliam praskiedimui, raide V∞, mes turėsime laidumui tokią lygtį: $\frac{1}{V\infty}$FE $(u_c + V_a) =$ El∞. Padaliję pirmąją lygtį į antrąją mes gausime: $\frac{\alpha V\infty}{V} = \frac{1}{l\infty}$ arba $\alpha = \frac{1V}{l\infty V\infty}$. Mes čia skaitiklyje turime ekvivalentingą arba molekulinį laidumą tūriui V, o vardiklyje labai dideliam tūriui V∞. Pažymėsime šituos laidumus iš eilės ženklais λ_v ir $\lambda\infty$. Tad disociacijos laipsnis $\alpha = \frac{l_v}{\lambda\infty}$. Žodžiu, disociacijos laipsnis yra santykis molekulinio laidumo tūriui V su molekuliniu laidumu prie labai didelio praskiedimo.

Taigi Arrhenius, pripažindamas, kad tirpalai yra dalinai elektrolitiniai disocijuoti ir kad ta disociacija darosi pilna skiediniuose arba tirpaluose didelio praskiedimo, tuo padėjo teorinį pagrindą tikram empiriniam Kohlrausch'o dėsniui, t. y. išaiškino addityvinį charakterį elektrolitų laidumo ir parodė, kaip galima išskaičiuoti disociacijos laipsnis žinant molekulinius arba ekvivalentingus laidumus elektrolito tam tikros koncentracijos arba tam tikro praskiedimo ir to paties elektrolito prie labai didelio praskiedimo. Žinant disociacijos laipsnį, einant augščiau nustatyta lygtimi $i = 1 + \alpha\,(k - 1)$, galima išskaičiuoti koeficientas i, t. y. surasti, kiek individuumų darosi iš vienos grammolekulos elektrolito tirpinant jį vandeny. Paimsime, pavyzdžiui, grammolekulą elektrolito NCl ir sakysime, kad to elektrolito disociacijos laipsnis tam tikram praskiedime yra lygus 0,5. Tad $i = 1 + \frac{1}{2}\,(2 - 1) = 1\frac{1}{2}$, nes disociuojant Na Cl iš vienos grammolekulos susidaro du individuumai. Taigi, šito praskiedimo Na Cl tirpalas rodys 1,5 syk didesnį osmotinį spaudimą, 1,5 syk didesnę depresiją ledo temperatūros, 1,5 syk didesnį virimo temperatūros pakilimą, kaip tuomet, kada neturi vietos disociacija. Įvykus pilnai disociacijai prie didelio praskiedimo (Na Cl = Na$^{\cdot}$ + Cl') mes turėsime $i = 2$, nes $\alpha = 1$ ir, vadinasi, augščiau nurodyti dydžiai bus dusyk didesni, kaip, sakysime, cukrui prie tokio pat praskiedimo laipsnio. O jeigu mes turėsime darbo su tokiu elektrolitu, kaip H_2SO_4, tai įvykus pilnai disociacijai ($H_2SO_4 = H^{\cdot} + H^{\cdot} + SO''_4$), mes turėsime $i = 3$ ir tokio skiedinio osmotinis spaudimas, ledo temperatūros depresija, virimo temperatūros pakilimas bus 3 syk didesni, kaip neelektrolitui. Taigi patikrinimui Arrheniso teorijos galima išskaičiuoti i remiantis elektriško laidumo matavimais ir,

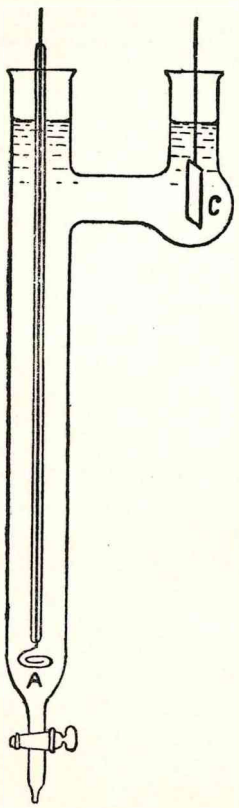
sakysime, ledo temperatūros depresijos matavimais. Termodinamika rodo, kad virimo temperatūros pakilimas arba ledo temperatūros depresija $\pm \Delta t = \frac{0{,}02\ T^2}{L}$. Čia T reiškia absoliutinę ledo tirpimo (arba vandens virimo) temperatūrą ir L reiškia slaptą tirpimo (garavimo) šilimą, skaitant 1 grammolekulai vandens. Šita formula turi bendros reikšmės ir ji tinka visokiems skystimams, kurie vartojami tirpintuvais, kaip, sakysime, vanduo, spiritas, eteris, acetonas, acto rūgštis, benzolas. Taigi eidami šita formula mes galime išskaičiuoti vadinamą molekulinę ledo tirpimo depresiją vandeniui ir gausime — 0^0, 185 jeigu mes turėsime ištirpinę 1 grammolekulą, sakysime, cukraus, 10 litrų vandens (toksai skiedinys vadinasi decinormalinis ir išreiškiamas ženklu $\frac{N}{10}$, nes 1 litre vandens mes čia turėsime $\frac{1}{10}$ dalį grammolekulos. Turėdami elektrolitą ir išmatavę jo sudarytą depresiją, mes gausime didesnį skaičių kaip 0,185 (prieš tai reikia perskaityti matavimu gautas skaičius grammolekulai ir praskiedimui $\frac{N}{10}$). Taigi santykis matavimu surasto skaičiaus ir termodinamikos duoto skaičiaus, t. y. $\frac{\Delta t}{0{,}185}$ bus lygus skaičiui i. Duodame čia keletą pavyzdžių skaičiaus i, apskaityto iš ledo depresijos temperatūros matavimų ir iš elektros laidumo matavimų.

Medžiaga	α (praskied. $\frac{N}{10}$)	$i = \frac{\Delta t}{0{,}185}$	$i = 1 + \alpha(k-1)$
Natrio hidroksidas	0,88	1,91	1,88
Kalio hidroksidas	0,93	1,79	1,93
Druskos rūgštis (HCl)	0,9	1,98	1,90
Azoto rūgštis	0,92	1,94	1,92
Paprasta druska (NaCl)	0,82	1,90	1,82
Kalio chloridas	0,86	1,82	1,86
Natrio nitratas	0,82	1,82	1,82

Skaičiai gauti vienu ir kitu būdu, jeigu ir nesutampa visai, tai visgi tiek mažai skiriasi vienas nuo kito, jog tame reikia matyti rimtą argumentą už Arrheniuso hipotezą. Pridursime dar, kad ne tik elektros laidumo addityvumas, bet ir daugelio kitų fiziškai chemiškų elektrolitų savybių addityvumas, kaip antai lyginamojo svorio, šviesos refrakcijos, šviesos polarizacijos plokštumos sukimo, šviesos absorbcijos ir t. t. sudaro rimtą paspirtį Arrheniuso hipotezei (augščiau nurodytas fiziškai chemiškos savybės dažnai galima išreikšti suma atatinkamų savybių kationo ir aniono).

Jau Faraday'us, atlikdamas bandymus, pastebėjo, kad vykstant tirpalų elektrolizei susidaro elektrodų srityse elektrolito koncentracijų skirtumų, kuriuos Faraday'us aiškino nevienodu ionų judėjimu. Šituo klausimu antroje pusėje XIX amžiaus rimtai susidomėjo Bonnos Universiteto (Vokietijoje) fizikas Hittorfas. Jis nustatė ionams vadinamus transporto skaičius ir atliko visą eilę matavimų tiems transporto skaičiams surasti. Einant Faraday'aus dėsniu, sakysime, anodo srityje srovė i per lauką t perveda į tirpalo būklę e i t anodo medžiagos, sakysime, vario. Darydami chemišką analizę elektrolito anodo srityje mes konstatuojame vario kiekį, sakysime m, mažesnį kaip e i t. Vadinasi, kad vario kiekis e i t — m. srovės perkeltas iš anodo srities į katodo sritį pavidalu vario kationų. Santykį $\frac{e\,i\,t - m}{e\,i\,t}$ Hittorfas pavadino kationo transporto skai-

čiumi. Antra vertus, eidami Kohlrauscho laidumo dėsniu mes turime: $\lambda\infty = U_c + V_a = F(u_c + v_a)$, iš to: $U_c = Fu_c$ ir $V_a = Fv_a$ arba $\frac{V_a}{U_c} = \frac{v_a}{u_c}$. Padidinę šituos santykius vienetu mes gausime: $\frac{V_a + U_c}{U_c} = \frac{v_a + u_c}{u_c}$, arba $\frac{U_c}{U_c + V_a} = \frac{u_c}{u_c + v_a}$. Čia U_c ir V_a reiškia kationo ir aniono laidumus, o u_c ir v_a reiškia kationo ir aniono absoliutinius greitumus. Taigi santykis $\frac{U_c}{U_c + V_a} = \frac{u_c}{u_c + v_a}$ yra ne kas kita, kaip Hittorfo kationo transporto skaičius, nes mes čia turime santykį tarp elektros kiekio, perkelto kationais, su visu elektros kiekiu, perėjusiu per elektrolitą, t. y. perkeltą kationais viena kryptimi, o anionais kita kryptimi. Aišku, kad tas santykis yra lygus augščiau duotam santykiui $\frac{eit - m}{eit}$. Antra vertus, jeigu kationo transporto skaičius yra lygus $\frac{U_c}{U_c + V_a}$, tai aniono transporto skaičius bus $1 - \frac{U_c}{U_c + V_a} = \frac{V_a}{U_c + V_a}$, nes kationas ir anionas abudu visuomet perkelia tą patį elektros kiekį, sakysime, 1 F, jeigu mes operuojame ionų gramekvivalentais.



204 pieš.

204 piešinys atvaizduoja aparatą, kuriuo nustatomas transporto skaičius sidabrui. Mes čia turime susisiekiamąjį indą, kurio viena šaka žymiai ilgesnė kaip antroji. Ilgesnioji šaka baigiasi apačioje siauresniu vamzdžiu, kuris aprūpintas bėgtuvu. Abidvi šakos pripiliamos elektrolito, kalbamu atveju sidabro nitrato $AgNO_3$. Į ilgesnę šaką per skylę kamštyje viršuje tos šakos prakištas ilgas stiklo vamzdis, į kurį iš apačios su pagalba platinos vielos įlydytas sidabro spyruoklis A, kuris čia yra anodu. Stiklo vamzdis reikalingas tam, kad vario viela, su kurios pagalba anodas prijungiamas prie + polio batarejos, nebūtų kontakte su elektrolitu. Į antrą šaką įleista sidabro plokštelė C, kuri su pagalba sidabro vielos gali būti prijungta prie — polio batarejos. Tinklas sudaromas iš batarejos, iš aprašyto čia aparato ir voltametro, sakysime sidabro voltametro. Per visą šitą kombinaciją tam tikrą laiką leidžiama elektros srovė, kuri sudarys tam tikrų sidabro nitrato koncentracijų atmainų anodo ir katodo srityse. Difuzija stengsis išlyginti šitą koncentracijų skirtumą ir todel reikalinga difuziją sumažinti kiek tik galima. Tai atsiekiama suteikus elektrolitiniam indui tokią formą, kaip rodo 204 piešinys, vadinasi, padėjus anodo sritį ir katodo sritį kiek galima toliau viena nuo antros. Be to, dar leidžiama silpna srovė nuo keleto šimtinių ampero ligi dešimtos dalies ampero. Tokiomis sąlygomis sudarytos srovės koncentracijos atmainos bus labai maža paliestos difuzijos. Todel pastatę iš apačios po ilgesne šaka atsvertą stiklinę, atidarę bėgtuvą ir nuleidę į stiklinę dalį elektrolito iš anodo srities A, mes galėsime cheminės analizės keliu (kalbamuoju atveju titravimo metodu) nustatyti įvykusią koncentracijos atmainą sidabro nitrato anodo srityje. Čionai einant srovei kiekvienas kulonas perveda nuo anodo A į tirpalo būklę (į ionų būklę) sidabro elektrocheminį ekvivalentą, o ant katodo C tuo pačiu laiku atideda vieną sidabro elektrocheminį ekvivalentą. Jeigu nebūtų kationų Ag ir anionų NO'_3 judėjimo priešingomis kryptimis, tai atatinkamai koncentracija sidabro nitrato anodo srityje sustiprėtų, o katodo srity susilpnėtų. Bet, del judėjimų kationų sidabro į katodo C pusę, koncen-

tracijos sustiprėjimas anodo srityje bus mažesnis, kaip turėtų būti atžvilgiu perėjusio per elektrolitą kulonų skaičiaus. Antra vertus, katodo srityje koncentracijos susilpnėjimas nebus toks didelis kaip turėtų būti atžvilgiu kulonų skaičiaus. Sidabro voltametras įjungiamas iš eilės su aparatu 204 pieš. tam, kad galima būtų tiksliai nustatyti visas perėjęs per elektrolitą kulonų skaičius. Tegu, pavyzdžiui, per elektrolitą tam tikrą laiką ėjo srovė, kuri atidėjo sidabro voltametre 32,2 miligramus sidabro. Visas kulonų skaičius bus proporcingas šitam sidabro kiekiui. Vadinasi, kad sidabro koncentracija anodo srityje turėjo padidėti per 32,2 miligramus, nes einant Faraday'aus elektrolizės dėsniu šitas sidabro kiekis perėjo iš anodo A į tirpalo būklę. Atlikę analizę elektrolito, nuleisto į stiklinę iš anodo srities, mes konstatuosime tik 16,8 miligramų sidabro koncentracijos prieauglių. Taigi aišku, kad 32,2 — 16,8 = 15,4 miligramų sidabro kationų pavidalu, leidžiant srovę per elektrolitą, perėjo iš anodo srities į katodo sritį. Todel proporcingas tam sidabro kiekiui kulonų skaičius + elektros perėjo per elektrolitą katodo kryptimi, o visas kulonų skaičius, perėjęs per tą patį laiką katodo kryptimi ir priešinga kryptimi į anodo pusę (— elektra su anionais), yra proporcingas sidabro kiekiui 32,2. Taigi, einant tuo, kas augščiau pasakyta, sidabro iono transporto skaičius bus $\frac{15,4}{32,2} = 0,478$.

Todel anionų NO'_3 transporto skaičius bus 1 — 0,478 = 0,522, nes abudu ionai kartu perkėlė kaip tik tam tikrą kulonų skaičių, sakysime IF, susidedantį iš—kulonų, perkeltų į anodo pusę, ir + kulonų, perkeltų į katodo pusę. Be to, šitas anionų transporto skaičius galima tokiu pat būdu apskaityti kaip ir kationų transporto skaičius, atlikus analizę elektrolito iš katodo srities. Nustatę tikrą koncentracijos kritimą sidabro nitrato katodo srityje ir sulyginus šitą koncentracijos kritimą su tuo, koksai būtų einant Faraday'aus dėsniu, jeigu nebūtų perėjimo anionų iš katodo srities į anodo sritį, mes surasime kiekį perėjusių iš katodo srities į anodo sritį anionų.

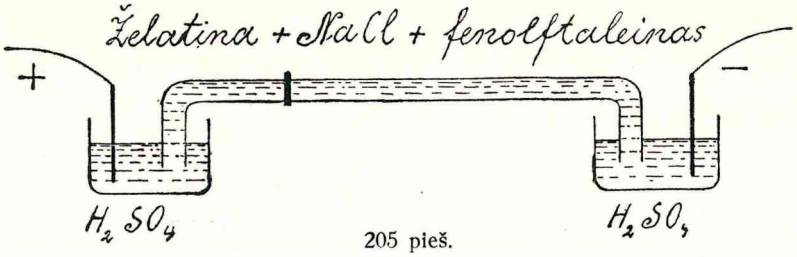
Panašiais aparatais arba atatinkamomis jų modifikacijomis buvo nustatyti transporto skaičiai įvairiems ionams (kationams ir anionams). O remiantis molekuliniais laidumais skiedinių ir šitais transporto skaičiais, buvo išskaičiuoti relatyvūs ir absoliutiniai ionų greitumai. Pavyzdžiui, sidabro kationo transporto skaičius $\frac{U_c}{U_c + V_a} = 0,478$. Kadangi sidabro nitrato skiedinio (smarkiai praskiesto tirpalo) molekulinis laidumas $\lambda\infty = U_c + V_a = 115,8$, tai sidabro kationo relatyvus greitumas bus $U_c = 0,478 \times 115,8 = 55,4$. Antra vertus, mes jau nustatėme $U_c = F.\ u_c$, kur u_c reiškia absoliutinį kationų greitumą (cm. per sekundą), o F reiškia 1 faraday'ų. Iš šitos lygties bus $u_c = \frac{U_c}{F} = \frac{55,4}{96540} = 5,7.10^{-4}$ cm. per sekundą. Štai lentelė patiekia absoliutinius ir relatyvius greitumus įvairių ionų prie temperatūros 18° C.

	u_c	U_c
$H^{\cdot}$	$32,5.10^{-4}$ cm.	318
$K^{\cdot}$	$6,7.10^{-4}$ cm.	64,66
$Na^{\cdot}$	4,51	43,55
$Li^{\cdot}$	3,47	33,44
$Ag^{\cdot}$	5,7	55,4
OH'	17,8	174.
Cl'	6,78	65,44
NO'_3	6,4	61,78.
CH_3COO'	3,2	35.

Greičiausiai juda, kaip matyti šitoje lentelėje, vandenilio ir hidroksilo (OH') ionai. Bet, aplamai, ionų greitumai labai maži (šitie greitumai apskaityti atokumui 1 cm. tarp elektrodų ir potencialų skirtumai 1 voltas) ir, kas ypatingai įdomu, dažnai sunkesni kationai, kaip kalis, sidabras, turi didesnius greitumus, kaip lengvesni kationai — natris, litis. Remiantis šitais skaičiais galima apskaityti jėga, reikalinga tam, kad galima būtų

pavaryti 1 gramą vandenilio ionų greitumu 1 cm. per sekundą. Išeina jėga 320000 tonų. Įdomu, kad tokio pat didumo jėgos apskaitomos iš difuzijos greitumų, kuri yra vaisius osmotinio spaudimo. Iš to matyti, kad skysčių pasipriešinimas difuzijai, veikiant osmotiniam spaudimui, ir ionų judėjimui, veikiant elektriškoms jėgoms, yra tos pačios rūšies. Ir iš tikrųjų, šitas pasipriešinimas ir vienu ir antru atveju yra surištas su skysčių klampumu arba jų išvidiniu trynimu (žiūr. „Skysčiai ir Dujos“ 9 §, 37 — 41 puslap.). Kadangi skysčių klampumas smarkiai mažėja kįlant temperatūrai, tai suprantama, kad ionų greitumas smarkiai didėja kįlant temperatūrai. Todel prie augštų temperatūrų visokių ionų transportų skaičiai išsilygina, t. y. visi ionai charakterizuojasi tuo pačiu transporto skaičium, būtent 0,5. Vadinasi, atliekant elektrolizę sutirpintų prie augštos temperatūros druskų, nėra jokių koncentracijos atmainų anodo ir katodo srityse.

Trumpai paminėsime čia dar, kad Lodge'as, Wheatham'as, Washburn'as ir kiti tiesioginiu būdu matavo ionų greitumus. Profesorius Lodge'as vartojo aparatą, kurį atvaizduoja 205 piešinys. Mes čia turime du stiklo indus su sieros rūgšties tirpalu tos pačios koncentracijos (vidutiniško stiprumo). Tie du indai sujungti ilgu ir siauru stiklo vamzdžiu, kaip rodo piešinys. Šitas vamzdis pripildytas želatinos, impregnuotos paprasta druska Na Cl, primaišius truputį fenolftaleino ir Na OH. Tokiomis sąlygomis vamzdžio

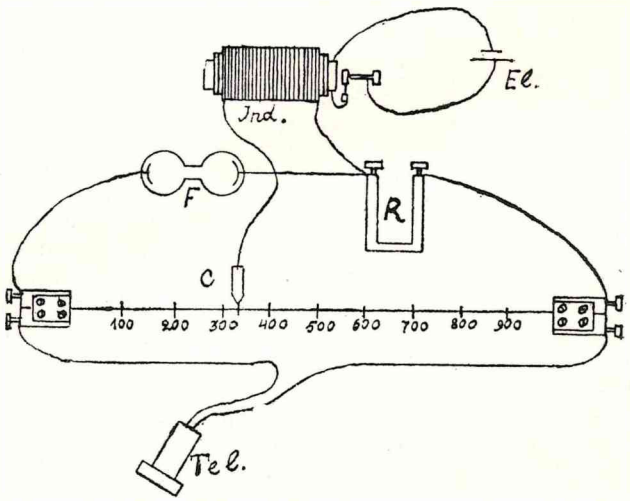


205 pieš.

turinys raudonas. Į stiklo indus įdėti du platinos elektrodai, kurie sujungti su + ir — poliais batarejos. Paleidus srovę, vandenilio kationai slinks per vamzdį katodo kryptimi ir, slinkdami, neutralizuos šarmą, pridėtą prie želatinos, ir tokiu būdu naikins raudoną spalvą. Taigi riba tarp skaidrios želatinos ir raudonos želatinos slinks į katodo pusę su tokiu pat greitumu, su kuriuo slenka vandenilio kationai. Šitą slinkimą galime galime sekti mikroskopu, aprūpintu škala, ir tiesioginiu būdu išmatuoti vandenilio ionų greitumą. Lodge'as vandeniliui gavo skaičius nuo 24.10^{-4} ligi 29.10^{-4}. Šitie skaičiai pakankamai arti nuo augščiau minėto skaičiaus $32{,}5.10^{-4}$, surasto remiantis laidumo matavimais ir transporto skaičiaus nustatymu. Bet visgi Lodge'o skaičiai mažesni kaip $32{,}5.10^{-4}$, viena todel, kad impregnuotos želatinos klampumas yra žymiai didesnis kaip vandens klampumas, o antra, todel, kad siauruose vamzdžiuose, leidžiant per juos srovę, įvyksta viso elektrolito judėjimas (toksai judėjimas vadinasi elektriška endosmozė) ir kaip tiktai į anodo pusę tokiomis eksperimento sąlygomis, kaip Lodge'o. Todel kiti tyrinėtojai, atkreipę į tai dėmesį, atliko matavimus tokiomis sąlygomis, kuriomis viso elektrolito judėjimas buvo eliminuotas, ir gavo įvairių ionų greitumams tokius pat skaičius, kurie buvo gauti remiantis transporto skaičiais ir laidumo matavimais.

Elektrolitų lyginamasai laidumas yra svarbus dydis elektrolito medžiagos charakteristikai, kaip tai matyti iš viso to, kas anksčiau pasakyta apie elektrolitų elektros laidumą. Žinant elektrolito molekulinį laidumą įvairiuose praskiedimo laipsniuose galima surasti elektrolito disociacijos laipsnis ir elektrolito ionų greitumai, o tas duos mums supratimo viso fiziškai-chemiško elgesio ištirpinto vandeny elektrolito. Elektrolito laidumo matavimai, atliekami tuo pačiu metodu, kaip ir metalų arba I-os rūšies laidininkų matavimai, būtent, vartojant Wheatstone'o tilto schemą ir matuojant elektrolito varžą. Atliekant tokius matavimus elektrolitams reikia vienok turėti galvoj, kad einant srovei tam tikros krypties, t. y. einant vadinamajai nuolatinei srovei per elektrolitą,

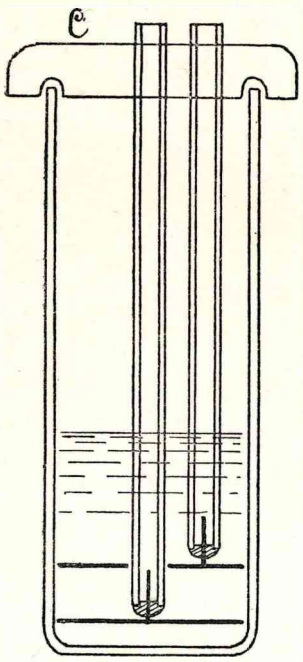
vyksta elektrolizė ir elektrolizės išdava reiškiasi polarizacija. Vadinasi, taikant Ohmo dėsnį elektrolitams veikia formula: $I = \frac{E - E'}{R}$. Čia E reiškia ekletrovaromąją jėgą veikiamosios batarejos, o E' reiškia polarizacijos elektrovaromąją jėgą, kuri visuomet atkreipta prieš batarejos elektrovaromąją jėgą. Vadinasi, kad del polarizacijos srovė bus silpnesnė, ir mums atrodys taip, kad, tarytum, elektrolito varža didesnė. Polarizacija čia veiks taip, kad, tarytum, didins elektrolito varžą ir mes gausime didesnį skaičių kaip reikia. Kad išvengtume šitos klaidos, matuojant elektrolitų varžą, reikia vartoti kintamoji srovė, t. y. tokia srovė, kuri bent kelias dešimtis sykių per sekundą keičia savo kryptį. Su tokiomis kintamomis srovėmis mes susipažinsime vėliau. Taigi leidžiant per elektrolitą tokią srovę, sakysime, dažnumo 20 per sekundą, per pirmą keturiasdešimtą dalį sekundos šita srovė išvarys ant vieno elektrodo vandenilį, o ant kito elektrodo deguonį ir polarizuos tuos elektrodus. Bet per antrą keturiasdešimtą sekundos dalį srovės kryptis bus priešinga, ir ji išvarys ant pirmo elektrodo deguonį, o ant antro vandenilį, kurie ir susijungs tarp savęs sudarydami vandenį. Taigi per antrą keturiasdešimtą sekundos dalį poliarizacija vyks priešinga kryptimi kaip per pirmąją dalį, ir kaipo išdava, aplamai turint pakankamo dažnumo srovę, polarizacija neapsireikš. Aplamai, einant tokiai srovei per elektrolitą viena kryptimi ant vieno elektrodo nugula anionas, o ant antro kationas, ir kada kationo ir aniono medžiaga skiriasi nuo elektrodų medžiagos, reiškiasi polarizacija. Bet per kitą sekundos trupmeną srovė eina priešinga kryptimi ir atideda anioną ant to elektrodo, kur per pirmąją sekundos trupmeną buvo atidėtas kationas, o kationą ten, kur buvo atidėtas anionas, taip kad srovės efektas per vieną sekundos trupmeną panaikinamas srovės efektu per kitą sekundos trupmeną ir t. t. Bet vartojant kintamąją srovę elektrolitų varžoms matuoti negalima Wheatstone'o tilte naudotis galvanometru kaipo nuliniu instrumentu, nes toki kintamoji srovė neveikia galvanometro arba, tiksliau kalbant, suteikia galvanometro judomajai daliai impulsą tam tikra kryptimi per vieną sekundos dalį ir impulsą priešinga kryptimi per kitą sekundos dalį, taip kad šitie priešingi impulsai kompensuoja vienas antrą, ir todel galvanometro judamoji dalis, aplamai, neatsilenkia iš pusiausvyros būklės veikiant kintamajai srovei. Todel tenka vietoj galvanometro naudotis telefonu nulinei būklei surasti. Veikiant kintamajai srovei telefonas duoda tam tikrą toną, kurio stiprumas pareina nuo srovės stiprumo. Turint telefoną Wheatstone'o tilte girdimas telefone tonas pasieks minimumą, kada srovė tilte pasidarys lygi nuliui. Taigi vietoj nulinės galvanometro būklės matuojant elektrolitų varžą nustatoma tokia padėtis, kada telefonas duoda minimumą. Telefonas galima įtaisyti Wheatstone'o tilte, bet dažniausiai matuojant elektrolitų varžą telefonas prijungiamas prie galų vielos, ištemptos ant škalos, o Weatstone'o tilte padedamas kintamosios srovės išteklius pavidalu nedidelio induktoriaus. 206 piešinys atvaizduoja Wheatstone'o tilto schemą elektrolitų varžai matuoti. Šitoje schemoje F reiškia indą su elektrolitu ir su platinos elektrodais, o R reiškia varžos magaziną. Nedidelis induktorius penimas viena arba dviem galvaniniais elementais (schemoje toks elementas pažymėtas dviem brūkšneliais ir jo poliai prijungti prie pirminės induktoriaus špulės).



206 pieš.

Antriniai induktoriaus poliai prijungti vienas prie bendro mazgo, kuriame sueina elektrolito F galai ir varžos R galai, o antras prie kontakto C, kuris šliaužia išilgai kalibruotos vielos, ištemptos ant škalos su padalijimais į milimetrus. Telefonas prijungtas kaip jau pasakyta. Motyvai del tokio sujungimo išdėstyti jau 13 §, kalbant, aplamai, apie Wheatstone'o tilto schemą. Induktorius imamas mažas augštesniam tonui, ne tranksmui, gauti. Geriausia, jei tas tonas yra panašus į uodo birbimą.

Indai su elektrodais, kuriuose atliekami elektrolitų varžos matavimai, būna įvairios formos. Bet dažniausiai vartojami tokie varžos indai, kaip atvaizduoja 207 piešinys. Mes čia turime stiklo indą su viršeliu iš ebonito. Per dvi skyles tam viršely prakišti du stiklo vamzdžiai. Į tų vamzdžių galus įlydytos trumpos platinos vielos, prie kurių prilydytos dvi platinos plokštelės. Viršutinė iš tų platinos plokštelių irgi turi skylę, pro kurią pereina stiklo vamzdelis su antra platinos plokštele. Abidvi platinos plokštelės nustatomos tam tikram atokume viena nuo antros. Į stiklo vamzdelius įpiliama truputys gyvsidabrio, o į tą gyvsidabrį įkišami vario vielų galai. Kiti tų vielų galai išsikiša iš stiklo vamzdelių, ir jie galima sraigtais prijungti prie atatinkamų Wheatstone'o tilto mazgų (žiūr. 206 pieš.).



207 pieš.

Kadangi ir vartojant kintamąją srovę, ypač, sulyginti, nedidelio dažnumo, visiškai pašalinti polarizacijos negalima, tai reikia dar platinuoti platinos elektrodai, t.y. reikia aptraukti elektrodų paviršius platinos juodžių sluogsniu. Tokiu būdu mes žymiai padidinsime aktingą platinos elektrodų paviršių ir atatinkamai sumažinsime polarizacijos efektą. Prieš platinuojant platinos elektrodus jie gerai išplaunami chromo ir sieros rūgščių mišiniu, paskui jie sudedami inde su tirpalu iš 3 gramų chloro platinos rūgšties (H_2PtCl_6), 0,02 — 0,03 gramų švino acetato ir 100 cm.^{3} distiliuoto vandens. Padėti į indą su tokiu tirpalu elektrodai sujungiami su 2 akumulatoriais su pagalba komutatoriaus. Leidžiama srovė per 15 minučių komutuojant srovę bent kas minutė, o dar geriau kas 0,5 minutės, taip kad kiekvienas elektrodas iš eilės būna katodu ir ant jo, kaip ant katodo, nugula platina smulkiausių dalelių pavidalu, del kurių platina ir atrodo juoda, kaip mašastas. Pabaigus elektrolizę, tie patys platinos elektrodai, jau juodi, sudedami silpnam sieros rūgšties tirpale ir leidžiama dar per $^1/_2$ val. srovę komutuojant tą srovę kas minutė. Pagaliau elektrodai gerai išplaunami šiltu vandeniu. Nevartojant jie visuomet reikia laikyti distiliuotam vandeny be anglies rūgšties.

Tegu varža elektrolito duotos koncentracijos bus lygi R. Tad $R = r.\frac{l}{q}$. Cia r reiškia lyginamąją elektrolito varžą, l reiškia atokumą tarp elektrodų centimetrais ir q — elektrodo paviršiaus plotą cm.^{2}. Iš šitos lygties bus: $\frac{1}{r} = k = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{q}$. Čia k reiškia elektrolito lyginamąjį laidumą (arba laidumą 1 cm.^{3}). Jį mes surasime, išmatavę elektrolito varžą R, paėmę tos varžos atvirkščią dydį ir padauginę šitą dydį į $\frac{l}{q}$. Šitas santykis vadinasi indo varžos talpumas, ir kadangi sunku tiesioginiu būdu išmatuoti atokumas tarp elektrodų l ir elektrodo paviršiaus plotas q, tad santykis $\frac{l}{q}$ nustatomas kiekvienam indui atskiru eksperimentu, išmatavus jame tokio elektrolito varžą, kurio laidumas yra žinomas. Dažniausiai tokiam tikslui vartojamas decinormalinis $\left(\frac{N}{10}\right)$ tirpalas chloro

kalio K Cl, kurio lyginamasai laidumas prie temperatūros 18° yra lygus 0,0112. Normalinis tirpalas $\left(\frac{N}{1}\right)$ vadinasi toks, kuriame 1-am litrui vandens tenka 1 grammolekula tirpinio, decinormaliniu toks, kuriame 1 grammolekula tenka 10-čiai litrų, 100 normaliniu $\left(\frac{N}{100}\right)$ — kada 1 grammolekula tenka 100-tui litrų tirpintuvo ir t.t. Tokiu būdu išreiškiama koncentracija arba praskiedimo laipsnis įvairių tirpalų. Tegu varža decinormalinio chloro kalio tirpalo vartojamam inde bus 0,1 ohmo. Tad iš formulos $k = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{q}$ bus $\frac{l}{q} = kR = 0{,}0112 \times 0{,}1 = 0{,}00112$. Tegu toliau varža normalinio tirpalo, sakysime, chloro natrio inde šito varžos talpumo bus 0,015 ohmų. Tad einant lygtimi $k = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{q}$ lyginamasai normalinio chloro natrio laidumas bus $k = \frac{1}{0{,}015} \cdot 0{,}00112 =$ = 0,0743 atvirkščių ohmų (arba mho). Bet lyginamasai laidumas yra laidumas 1 cm.^{3} medžiagos, t.y. kada medžiagos skerspjūvio plotas yra lygus 1 cm.^{2} ir kada medžiagos sluogsnio storumas yra lygus 1 cm. ta sąlyga, kad potencialų skirtumas, skaitant 1-am cm., yra 1 voltas. Vadinasi, jeigu 1 cm. tirpalo mes turėtumėm 1 grammolekulą chloro natrio, tai molekulinis laidumas būtų 0,0743. Bet mes turime 1 grammolekulą Na Cl viename litre, t.y. 1000 cm.^{3}. Mes galime šitą litrą įsivaizduoti tiesakampiu paralelopipedu su šonais 1000 kv. cm. ploto ir atokume 1 cm. vienas nuo antro ir tegu tie šonai bus metaliniai. Tad turint 1 grammolekulą Na Cl tokiam inde molekulinis laidumas bus $0{,}0743 \cdot \frac{1000}{1} = 74{,}3$. Vadinasi, kad gautume molekulinį laidumą, turime dauginti lyginamąjį laidumą į tą tūrį v, kuriame ištirpinta 1 grammolekula medžiagos, kaip jau tas įrodyta šitame paragrafe, pradėjus kalbėti apie Arheniuso teoriją. Dar šitai taisyklei paaiškinti galima pasinaudoti Ostwaldo vaizdu. Sakysime, kad mes turime varžos indą su 2 metaliniais šonais neapriboto ilgio atokume 1 cm. vienos nuo antro. Tegu indo šonų plotis bus 1 cm. Pripildysime tokio neapriboto augščio indą vandens ir įdėsime puslaidę diafragmą (tai yra tokią diafragmą, kuri perleidžia vandens molekulas ir neperleidžia druskų molekulų) į šitą indą atokume 1000 cm. nuo dugno. Tad mes atskirsime 1 litrą arba 1000 cm.^{3} vandens. Ištirpinsime tam vandeny 1 grammolekulą medžiagos. Molekulinis tos medžiagos laidumas bus k. 10000. Neliečiant nieko kito pastumsime puslaidę diafragmą taip, kad ji būtų atokume 10.000 cm. nuo dugno. Kadangi per diafragmą pereina tik vanduo, stumiant diafragmą į vieną ar į antrą pusę, tad dabar mes turėsime grammolekulą medžiagos tūryje 10.000 cm.^{3} arba 10 litrų ir dabar jos molekulinis laidumas bus k. 10.000. Perkelsime toliau diafragmą taip, kad atokumas jos nuo dugno būtų 100.000 cm. Tada mes turėsime grammolekulą medžiagos tirpalo tūryje 100.000 cm.^{3}, arba 100 litrų, ir molekulinis laidumas tokio tirpalo bus k. 100.000

Išdėstyta čia Arheniuso elektrolitinės disociacijos teorija sąryšy su elektrolitų laidumu ir ionų judingumu turi trūkumų, kaip jau anksčiau pasakyta. Arhenius nustato disociacijos laipsnį αsantykiu $\frac{\lambda_v}{\lambda_\infty}$. Čia λ_v reiškia molekulinį laidumą prie praskiedimo v, o λ_∞ prie begalinio praskiedimo, o žinant disociacijos laipsnį α ir ionų skaičių k, kuris susidaro iš grammolekulos, pilnai tai molekulai disociuojant, Arhenius apskaitė $i = 1 + \alpha (k - 1)$, kad galima būtų taikyti elektrolitams van't Hoffo lygtį $P = iRTc$. Bet tą patį i galime apskaityti žiūrėdami tirpalų virimo temperatūros pakilimo arba jų užšalimo temperatūros depresijos. Pasirodo, kad tie du būdai apskaitymo i duoda rezultatų, kurie dažnai nesutampa. Be to, ir kitos išvados, kurios daromos iš elektrolitinės disociacijos teorijos, ypač taikant elektrolitams veikiamųjų masių dėsnį, ne visuomet atatinka tikrenybę. Taip, taikymas veikiamųjų masių dėsnio silpniems elektrolitams duoda rezultatų, kurie sutampa su bandymų daviniais. Bet duoda nesutinkamų su bandymais rezultatų taikant šitą dėsnį stipriems elektroli-

tams (stipri elektrolitai yra stiprios bazės ir rūgštis ir jų sudarytos druskos, o silpni elektrolitai yra silpnos bazės ir rūgštys ir jų sudarytos druskos. Pirmieji elektrolitai smarkiai disociuoti tirpaluose, o antrieji silpnai disociuoti). Todel pastaraisiais laikais Ghosh, Debye ir kiti įneša pataisų į Arheniuso teoriją ta prasme, kad tie tyrinėtojai pripažįsta, kad stipri elektrolitai pilnai disociuoti tirpaluose bet kurių koncentracijų, bet ne visi ionai tų elektrolitų pakankamai laisvi, t. y. pakankamai laisvi nuo abipusės elektrinės traukos, ir todel tik dalis ionų, būtent visiškai laisvų nuo elektrinės traukos, dalyvauja elektros laidume. Remiantis išimtinai elektriniais daviniais Ghosh, Debye ir kiti duoda ir naujų formulų disociacijos laipsniui α. Pasirodo, kad tasai disociacijos laipsnis, apskaitytas šitomis naujomis formulomis, sutampa su disociacijos laipsniu, apskaitytu iš laidumo visiems vadinamiems binariniems elektrolitams, t. y. vienvalentingoms druskoms, kurių molekula, disociuojant, duoda du ionus. Kitų elektrolitų srityje reiškiasi didelis skirtumas tarp Arheniuso formulos ir naujųjų formulų. Savo esmės atžvilgiu naujosios pažiūros skiriasi nuo Arheniuso pažiūrų tuo, kad pripažįsta hidrataciją ir nedisociuotų molekulų ir ionų (hidratacija — susijungimas su vandens molekulomis), o šita hidratacija smarkiai keičia ir nedisociuotų molekulų ir ionų osmotinį spaudimą.

Elektrolitinė disociacijos teorija išdėstyta čia trumpai. Smulkiau su ja galima susipažinti fizikos chemijos kursuose. Nepaisant nurodytų čia šitos teorijos trūkumų, kurie ir šiandien dar galutinai nepašalinti, šita teorija įnešė didelės tvarkos į elektrolitinių procesų sritį ir nemaža prisidėjo prie materijos struktūros išaiškinimo, ypač prie sudarymo elektrinės materijos teorijos. Todel nepaminėti tokios teorijos fizikos kurse negalima.

16 §. Galvaninio elemento termodinaminė ir osmotinė teorijos. Galvanines polarizacijos teorija. Lippmano kapilarinis elektrometras. Antriniai elementai. Akumulatorius, jo teorija ir reikšmė. Elektrolizės pritaikymai. Galvanotipija ir galvanoplastika. Elektrochemija ir jos reikšmė technikai.

Grįšime dabar prie galvaninio elemento teorijos, kuri buvo paliesta tiktai iš cheminės faktiškos pusės 11 §. Remiantis vien tik termodinamikos dėsniais galima subalansuoti chemiškos ir elektriškos energijų atmainos galvaninio proceso, atmetant visokias hipotezes apie galvaninio proceso mechanizmą. Šituo atveju pasirodė labai tinkama Gibbso-Helmholtz'o lygtis, kuri yra ne kas kita, kaip taikymas antrojo termodinamikos dėsnio cheminiams procesams. Atsiminsime Carnot'o teoremą, kuri liečia naudingumo arba ekonomingumo koeficientą šilimos mašinų (žiūr. „Šilimos" 22 §, 150—157 puslap.). Carnot'o teorema sako, kad visoms šilimos mašinoms, kurios dirba apverčiamai tose pačiose temperatūros ribose, naudingumo koeficientas yra tas pats ir gali būti išreikštas santykiu $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$. Čia Q_1 reiškia absorbuotą šilimą prie absoliutinės temperatūros T_1, Q_2 atiduotą šilimą prie absoliutinės temperatūros T_2 ir $Q_1 - Q_2$ reiškia tą šilimos kiekį, kuris virsta darbu, kada mašina dirba apverčiamai. Imant labai mažą temperatūrų skirtumą dT augščiau duotas santykis gauna šią formą: $\frac{dQ}{Q} = \frac{dT}{T}$. Bet $dQ = dA$, kitaip sakant, yra lygus be galo mažam darbo kiekiui, gautam iš be galo mažo šilimos kiekio. Taigi $dA = Q\frac{dT}{T}$. Tas yra diferencinės lygties forma išreikštas antrasai termodinamikos dėsnis. Kada mašina dirba neapverčiamai, tada $dA < Q\frac{dT}{T}$. Vadinasi, maksimum darbo mes gauname dirbant mašinai tiktai apverčiamai. Iš šitos lygties: $Q = T\frac{dA}{dT}$. Pirmasai termodinamikos, arba energijos išlaikymo, dėsnis sako, kad sistemos išvidinės energijos sumažėjimas yra visuomet lygus sumai sistemos atlikto darbo ir šilimos efekto. Pažymėsime išvidinės energijos sumažėjimą raide U,

o šilimos efektą raide Q, suteikdami tam dydžiui ženklą +, kada šilima absorbuojama sistemos, ir ženklą —, kada šilima atiduodama sistemos. Pagaliau atliktą sistemos darbą pažymėsime raide A. Tad pirmasai termodinamikos dėsnis gali būti išreikštas taip: $U = A - Q$. Čia sistemos išvidinės energijos sumažėjimas paimtas su ženklu +, kaip tai visuomet daroma. Atsimenant antrąjį termodinamikos dėsnį $Q = T\frac{dA}{dT}$ bus $U = A - T\frac{dA}{dT}$ bet kuriam apverčiamam izoterminiam procesui ta vienok sąlyga, kad sistemos tūris nekinta. Bet tokiais atvejais, kada sistemos tūris nekinta, sistemos išvidinės energijos sumažėjimas yra lygus sistemos atiduotai šilimai. Tai žinant Gibbso-Helmholtz'o lygtis turi šią formą: $-Q_v = A - T\frac{dA}{dT}$ arba $A + Q_v = T\frac{dA}{dT}$. Čia Q_v reiškia atiduotą sistemos šilimą prie nuolatinio tūrio. Tą dalį energijos, kuri virsta darbu, Helmholtz'as vadina laisva sistemos energija (čia bus A), o dalį, kuri pasilieka šilimos forma, Helmholtz'as vadina surišta energija. Savaimingi, spontaniniai, cheminiai procesai vyksta visuomet viena prasme, būtent laisvos energijos mažėjimo prasme. Todel Helmholtz'as laiko laisvos energijos atmainą tikru matu reaguojančių medžiagų cheminio gimiringumo. Ilgą laiką buvo manoma, kad cheminis gimiringumas arba cheminis potencialas galima matuoti kiekiu tos šilimos, kurį atiduoda cheminis procesas (žinoma Berthelot-Thomseno taisyklė). Bet prityrimas parodė, kad šita nuomonė atatinka tikrenybę tik išimtinais atsitikimais, o, aplamai, tiktai laisvos energijos atmaina yra tas dydis, kuriuo galima išreikšti cheminis gimiringumas. $\frac{dA}{dT}$ yra laisvos energijos atmainos arba, kitaip sakant, gauto darbo temperatūrinis koeficientas. Kada $\frac{dA}{dT} = 0$, tada $A + Q_v = 0$ ir $A = -Q_v$. Vadinasi, tik tada, kada laisva energija nesikeičia su temperatūra, atiduota šilima yra lygi laisvos energijos atmainai ir yra tikras mastas cheminio gimiringumo. Bet kada $\frac{dA}{dT} < 0$, t. y. kada laisva energija mažėja kįlant temperatūrai, tada laisvos energijos atmaina yra mažesnė, kaip atiduota šilima. Bet ta laisvos energijos atmaina gali būti ir didesnė kaip atiduota šilima, būtent tada, kada $\frac{dA}{dT} > 0$, t. y. kada laisva energija didėja kįlant temperatūrai.

Laisvos energijos atmainos ypatingai lengva išmatuoti sekant galvaninius procesus, nes laisvos energijos atmaina yra lygi maksimumui darbo, kurį duoda galvaninis elementas, o tasai darbas yra proporcingas galvaninio elemento elektrovaromajai jėgai, kuri nesunku išmatuoti metodais, išdėstytais 13 §.

Pritaikysime dabar Helmholtz'o lygtį galvaniniams elementams ir pavartosime tik tokius galvaninius elementus, kurie dirba apverčiamai, nes tik tokie elementai duos maksimumą darbo. Apverčiamais galvaniniais elementais yra vadinami tokie, kurie nesipolarizuoja, kitaip sakant, kurių elektrodų medžiaga nekinta einant srovei per elementą ar viena kryptimi ar priešinga kryptimi. Prie tokių elementų, kaip jau mes žinome, priklauso Danielio elementas. Tegu toksai apverčiamas elementas dirba prie nuolatinės temperatūros T ir perėjus į tirpalo būklę, vadinasi, perėjus į ionų būklę arba nugulus ant elektrodo vienam gramionui metalo elementas sudaro nF kulonų (čia $F = 96540$ kulonų ir n ionų valentingumas). Tegu elektrovaromoji jėga elemento bus E voltų. Tad elemento sudaryta elektros energija bus nF. E voltkulonų. Šita energija bus lygi galvaninio elemento sistemos laisvos energijos atmainai, bet ji ne visuomet bus lygi galvaninio elemento cheminės reakcijos šilimos efektui Q (arba aplamai sistemos išvidinės energijos sumažėjimui). Tegu kalbamuoju atveju $nFE > Q$. Tad dirbant elementui prie nuolatinės temperatūros T jis atiduos dalį savo išvidinės energijos kaipo šilimą ir ta atiduota šilima bus čia lygi $Q - nFE$. Pakelsime dabar elemento absoliutinę temperatūrą per labai mažą dydį dT ir prie augštesnės absoliutinės temperatūros $T + dT$

pravarysime per elementą nF kulonų elektros, bet priešinga kryptimi. Tegu mūsų elemento elektrovaromoji jėga kįlant temperatūrai mažėja ir tegu ta jėga prie temperatūros T+dT bus E— dE. Tada praleidžiant nF kulonų priešinga kryptimi bus atliktas darbas atžvilgiu elemento nF (E—dE) ir elementas absorbuos šilimos kiekį Q — nF (E — dE) sutikus, kad cheminės reakcijos šilimos efektas Q nepareinąs visiškai arba labai mažai pareinąs nuo temperatūros. Atvėsinę dabar elementą ligi temperatūros T mes grąžinsime elementa visais atžvilgiais į tą pačią būklę nuo kurios pradėjome. Vadinasi, mes čia atlikome galvaniniu elementu Carnot'o apverčiamą ciklą (žiūr. „Šilimą", 150-156 puslap.) ir todel elementas duos mums maksimumą darbo. Šito ciklinio proceso išdava bus darbas, kurįatliks elementas: nFE — nF (E — dE) = nFdE, ir tasai darbas bus lygus, einant antruoju termodinanikos dėsniu, trupmenai $\frac{dT}{T}$ šilimos, absorbuotos elemento prie žemesnės temperatūros T, t. y. — (Q — nFE). Taigi, mes turėsime

$$nFdE = -\frac{dT}{T}(Q - nFE) = -\frac{dT}{T}Q + \frac{dT}{T}nFE \text{ arba } \frac{dT}{T}nFE = \frac{dT}{T}Q + nFdE,$$

arba $nFE = Q + nFT\frac{dE}{dT}$. Tai bus žinoma Helmholtz'o lygtis, kuri suriša galvaninio elemento proceso šilimos efektą Q su to elemento elektros energija nFE. Kad būtų išreikšti visi dydžiai šitos lygties elektros energijos vienetais, reikia šilimos efektas Q padauginti į 4,19, nes viena kalorija yra lygi 4,19 volt-kulonų. Taigi, tiksliai parašyta Helmholtz'o lygtis atrodo taip: $nFE = 4{,}19\,Q + nFT\frac{dE}{dT}$. Šita lygtis, gauta apverčiamo ciklinio proceso metodu, yra ne kas kita, kaip Gibbso-Helmholtz'o lygtis $A - U = T\frac{dA}{dT}$ arba $A = U + T\frac{dA}{dT}$. Ji riša cheminės sistemos laisvos energijos ir išvidinės energijos atmainas, atliekant apverčiamą ciklinį procesą prie nuolatinio tūrio ir ypatingai tinka cheminiams procesams sekti. Aišku, kad galvaninio elemento sudaryta elektros energija nFE yra ne kas kita, kaip galvaninio elemento laisvos energijos atmaina A, o galvaninio elemento cheminio proceso šilimos efektas Q yra jo išvidinės energijos atmaina U. Nariai $nFE\frac{dE}{dT}$ resp. $T\frac{dA}{dT}$ sudaro vadinamą surištą energiją pirmuoju atveju galvaninio elemento, o antruoju atveju, aplamai, cheminės sistemos. $\frac{dE}{dT}$ resp. $\frac{dA}{dT}$ yra temperatūrinis koeficientas galvaninio elemento elektrovaromosios jėgos resp. cheminės sistemos laisvos energijos. Taigi, Helmholtz'o lygtis rodo, kad galvaninio elemento elektros energija bus lygi cheminės reakcijos šilimai tik tuo atveju, kada elektrovaromoji elemento jėga nepareina nuo temperatūros, vadinasi, kada temperatūrinis koeficientas elektrovaromosios jėgos yra lygus nuliui $\left(\frac{dE}{dT} = 0\right)$. Prie tokių elementų priklauso Danielio elementas, ir pabaigoje 11 § parodyta, kad apskaityta Danielio elementui iš cheminės reakcijos šilimos elektrovaromoji jėga sutampa su tos jėgos matavimo vaisiais. Reikia vienok pasakyti, kad Danielio elementas turi visgi temperatūrinį koeficientą, nors ir labai mažą, ir todel tikslesnis sutapimas apskaitymo ir eksperimento galima pasiekti vartojant ir Danielio elementui Helmholtz'o lygtį. Dažniausiai galvaninių elementų elektrovaromosios jėgos temperatūrinis koeficientas būna neigiamas $\left(\frac{dE}{dT} < 0\right)$. Tokiais atvejais galvaninio elemento elektrinė energija (laisva enregija) būna mažesnė kaip išmatuota kalorimetru šilima cheminės reakcijos, kuri vyksta galvaniniam elemente. Vadinasi, dažniausiai mes turėsime kritimą elektrovaromosios jėgos kįlant temperatūrai. Bet būna

ir atsitikimų, kadà elektrovaromoji jėga auga kįlant temperatūrai, vadinasi, kada $\frac{dE}{dT} > 0$. Tokiais atvejais galvaninio elemento elektros energija yra didesnė kaip cheminės reakcijos šilima. Vadinasi, tokiais atvejais galvaninis elementas pavers elektros energiją ne tik cheminės reakcijos šilimą, bet dar dalį šilimos, kurią tas elementas semia iš apylinkos, kitaip sakant, jeigu jis negalės semti šilimos iš apylinkos, tai jam dirbant jo temperatūra kris, tuo tarpu elementų su neigiamu temperatūriniu koeficientu temperatūra kils, jeigu jų surišta šilima $T\frac{dE}{dT}$ nebus atiduodama apylinkai. Štai lentelė patiekia Helmholtz'o lygties patvirtinamuosius pavyzdžius, gautus bandymais.

Galvaninis elementas	E voltais pastebėta prie 0°	nFE kalorijomis	Q kalorijomis išmatuota	$\frac{dE}{dT}$ išmatuota	nFT $\frac{dE}{dT}$	nFE — Q
$Cu\|CuSO_4 100H_2O\|100H_2OZnSO_4\|Zn$	1,0962	50,530	50,110	$0,34.10^{-4}$	+ 430	+ 420
$Ag\|AgCl\|50H_2OZnCl_2\|Zn$	1,0171	46,900	49,080	$-2,1.10^{-4}$	— 2,640	— 2,180
$Ag\|AgBr\|25H_2OZnBr_2\|Zn$	0,84095	38,770	39,940	$-10,6.10^{-4}$	— 1,330	— 1,170
$Hg\|Hg_2Cl_2KCl\|KOH,Hg_2O\|Hg$ . .	0,1483	7,570	— 3,280	$+8,37.10^{-4}$	+11,280	+10,850

Paskutinės dvi skiltys duoda vadinamą surištą energiją. Jų skaičiai tiek maža skiriasi, kad iš to galime matyti Helmholtz'o lygties tikrumą. Paskutinis galvaninis elementas įdomus tuo, kad šito elemento cheminė reakcija yra surišta su šilimos absorbcija, o vienok jis duoda teigiamą elektros energiją. Vadinasi, mes čia turime iš tikrųjų tokį elementą arba tokią mašiną, kuri apylinkos šilimą verčia darbu. Galėtų atrodyti, kad tai prieštarauja antram termodinamikos dėsniui. Bet reikia žinoti, kad procesas tokiuose elementuose nesudaro ciklinio proceso ir sistema negali grįžti į savo pirmykštę būklę, jeigu nebus atliktas tam tikras darbas šitos sistemos atžvilgiu. Toki sistema yra panaši į šaldymo mišinį (žiūr. „Šilimos" 13 §, 75, 76, 77 ir 78 pusl.), kuris savaime vėsta. Antram termodinamikos dėsniui prieštarautų tokia sistema, kuri dirbdama cikliniu procesu ir savaime vėsdama paverstų darbu šilimą apylinkos kūnų vienodos temperatūros.

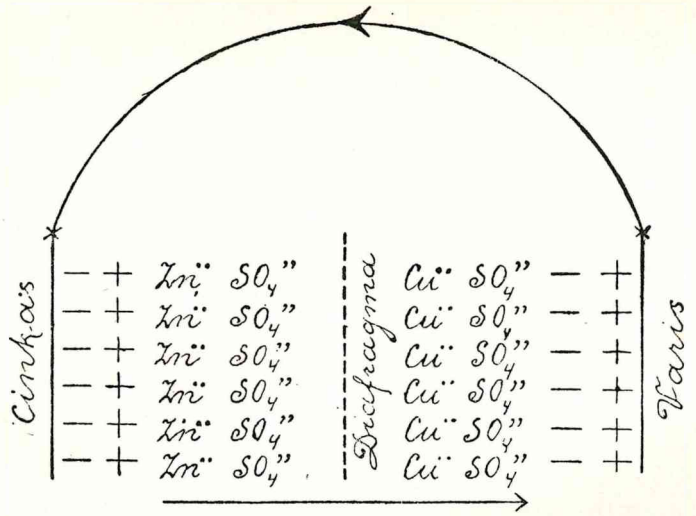
Taigi, patikrinti Helmholtz'o lygčiai reikia kalorimetriniu bandymu nustatyti cheminės reakcijos šilimos efektas Q. Paskui reikia ta pati reakcija vykdyti taip, kad ji veiktų elektromotoriškai, vadinasi, reikia sudaryti atatinkamas galvaninis elementas ir išmatuoti to galvaninio elemento elektrovaromoji jėga kompensacijos metodu prie įvairių temperatūrų. Tada mes turėsime visus davinius, kuriais patikrinsime lygtį:

$$nFE = 4,19Q + nFT\frac{dE}{dT} \text{ arba } E = \frac{4,19Q}{nF} + T\frac{dE}{dT}.$$

Išdėstyta čia termodinaminė galvaninio elemento teorija nieko mums nesako apie elektros energijos susidarymo galvaniniam elemente mechanizmą. Ji tik matematiškai išreiškia santykius tarp cheminės ir elektrinės energijos, taikydama galvaniniams elementams, nelyginant kaip šilimos mašinoms, kurios duoda mechaninį darbą, Carnot'o metodą. Tai galima todel, kad elektrinė energija, kurią duoda galvaniniai elementai, ir mechaninė energija, kurią duoda šilimos mašinos, charakterizuojasi pilnu perėjimu vienos į antrą.

Greta su termodinamine teorija mes šiandien turime osmotinę teoriją galvaninio elemento, kuri liečia patį elektromotoriško proceso mechanizmą. Šitą osmotinę teoriją sukūrė fizikos chemijos profesorius Nernstas (anksčiau Göttingeno universiteto, o dabar Berlyno universiteto), sekdamas van't Hoffo osmotinio spaudimo teorija ir Arheniuso elektrolitinės disociacijos teorija. Išdėstysime čia trumpai Nernsto teoriją, pasinaudoję vadinamu koncentracijos elementu. Paimsime indą su sidabro nitrato tirpalu

ir įkišime į tą tirpalą dvi sidabro plokšteles. Prijungę tas sidabro plokšteles prie galvanometro, mes jokio efekto nepastebėsime. To galima buvo laukti, nes potencialai kontakto vietose to paties metalo su tuo pačiu elektrolitu yra tie patys ir todel, sujungus tokias dvi plokšteles to paties metalo viela, srovės nebus, nes potencialų skirtumas arba elektrovaromoji jėga bus lygi nuliui. Kai del paties potencialo susidarymo kontakto vietoje metalo ir elektrolito, tai Nernstas šitaip aiškina dalyką. Pabrėšime čia tuoj, kad jo aiškinimas liečia tik vadinamus apverčiamus arba apgręžiamus elektrodus, t. y. tokius elektrodus, kurie randasi elektrolite su tais pačiais kationais, kurių duoda metalas. Paimsime, pavyzdžiui, cinko plokštelę kontakte su cinko sulfato tirpalu. Cinko sulfatas dalijasi disociuotas ir, vadinasi, mes turime tirpale cinko kationus. Paleidus elektros srovę taip, kad ji eitų nuo cinko į elektrolitą, cinkas tirps, vadinasi, duos cinko kationų. Paleidus srovę priešinga kryptimi, cinko kationai, pasiekę cinko plokštelę, nustos savo elektros įlydžių ir nuguls ant cinko kaipo metalinis cinkas. Taigi, ar mes leisime per tokią kombinaciją elektros srovę viena kryptimi, ar priešinga kryptimi, nei elektrodas nei elektrolitas savo sudėtyje nepakis. Todel toksai elektrodas vadinasi apgręžiamas elektrodas. Prityrimas rodo, kad cinkas kontakte su cinko sulfatu darosi elektriškai neigiamas, o cinkosulfatas elektriškai teigiamas.



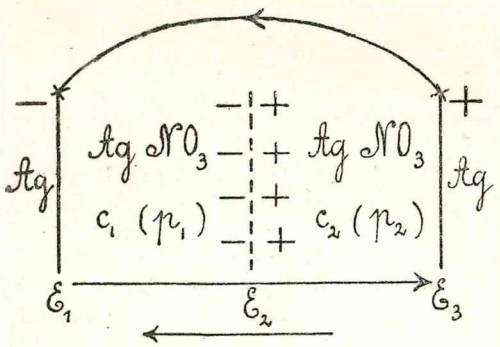
208 pieš.

Ionai tirpaluose reiškia osmotinį spaudimą. Nernstas tvirtina, kad metalai turi didesnį arba mažesnį palinkimą duoti ionus, ir šitą palinkimą Nernstas vadina metalo tirpimo tensija (gal tiksliau būtų pavadinti metalo ionizacijos tensija). Kada ta ionizacijos tensija yra didesnė, kaip osmotinis metalo ionų spaudimas tirpale, tada metalas siunčia nuo savo paviršiaus į tirpalą kationus (ionizuojasi). Taigi, artimiausias nuo metalo elektrolito sluogsnis įgyja tam tikrą perteklių teigiamos elektros, o patsai metalas tokį pat kiekį neigiamos elektros (žiūr. 208 pieš.). Tuo būdu prie pat cinko plokštelės susidaro vadinamas dvigubas elektrinis sluogsnis. Šitai metalo pastangai ionizuotis priešinasi čia elektrostatinės jėgos, būtent traukos jėga tarp — ir + sluogsnių ir dar osmotinis spaudimas kationų, kuris stengiasi išvaryti kationus ant metalo. Todel pakanka mažiausiam cinko kiekiui pereiti į tirpalą (pereiti į ionų būklę), kad nusistatytų pusiausvyra tarp cinko ionizacijos tensijos iš vienos pusės ir elektrostatiškos jėgos plius kationų osmotinis spaudimas iš antros pusės. Tas kiekis ionizuoto metalo, sudarant dvigubą elektros sluogsnį, galima sakyti, yra be galo mažas, nes jokiomis svarstyklėmis negalima jo nustatyti. Reikia turėti galvoj, kad tie metalai, kurie energingai jungiasi su deguoniu, reiškia ypatingai smarkią ionizacijos tensiją, o tokie metalai, kaip varis, gyvsidabris ir brangieji metalai reiškia tik silpną ionizacijos tensiją. Pastarieji metalai su elektrolitu, kuriame randasi to metalo kationai, elektrizuojasi teigiamai, o elektrolitas neigiamai. Vadinasi, osmotinis tokių metalų kationų spaudimas eletrolite yra didesnis kaip jų ionizacijos tensija ir todel tasai osmotinis spaudimas išvaro kationus ant metalo, kationai atiduoda metalui savo elektros įlydžius, ir metalas užsitaiso tam tikru teigiamos elektros kiekiu, o toksai pat neigiamos elektros kiekis susidaro elektrolito sluogsnyje, artimiausiam nuo metalo paviršiaus. Bet ir čia pakanka mažiausio

kiekio kationų, išmestų ant metalo, kad nusistatytų pusiausvyra tarp kationų osmotinio spaudimo iš vienos pusės ir elektrinės jėgos plius metalo ionizacijos tensija iš antros pusės. Taigi, tokie metalai, kaip natris, kalis, cinkas, aluminius, geležis, švinas, alavas kontakte su elektrolitais bus užtaisyti neigiamai, o tokie metalai, kaip varis, gyvsidabris, sidabras, auksas kontakte su elektrolitais bus užtaisyti teigiamai. Todel įmerkus, sakysim, cinką į cinko sulfato tirpalą tuojau susidarys dvigubas elektrostatinis sluogsnis, kaip rodo 208 piešinys, būtent: neigiamos elektros sluogsnis bus ant cinko, o teigiamos elektros sluogsnis bus ant elektrolito, o įmerkus varį į vario sulfatą irgi susidarys dvigubas elektrostatinis sluogsnis. Tiktai čia teigiamos elektros sluogsnis bus ant vario, o neigiamos elektros sluogsnis bus ant elektrolito. Sudėję du tokius elektrolitus su metalais taip, kad tarp elektrolitų būtų kontaktas, mes gausime Danielio elemento schemą. Kad būtų išvengta elektrolitų susimaišymo ir del to susimaišymo kilusių vietinių reakcijų, kenksmingų elektrovaromajam procesui, abudu elektrolitai perskiriami diafgrama, kuri 208 piešiny atvaizduota punktyrų linija (t. y. kaolino cilinderis Danielio elemento). Taigi kol toksai elementas atdaras, kitaip sakant, kol cinkas ir varis nesujungti viela, mes turime tik dvigubus elektros sluogsnius ir jokių tolimesnių atmainų tokiam atdaram elemente nevyksta. Bet, sujungus viela varį ir cinką, + elektra teka per vielą nuo vario į cinką, o pačiam elemente (per elektrolitus) nuo cinko į varį — elektra tuo pačiu laiku teka priešinga kryptimi. Cinko kationai slenka su teigiama srove, o anionai SO''_4 slenka priešinga kryptimi. Taigi, sujungus viela varį ir cinką, teigiama vario elektra neutralizuoja neigiamą cinko elektrą ir todel visą laiką cinkas ionizuojasi, atnaujindamas — elektros sluogsnį ant savo paviršiaus, o varis iš ionų būklės pereina į metališką būklę, nes vario kationai, pasiekę varį, atiduoda variui savo teigiamus įlydžius. Pertraukus vielą šitas procesas tuojau sustoja, nes dvigubi elektros sluogsniai ant vieno ir ant kito elektrodų tuojau pasiekia pusiausvyros būklę. Kodel ant vario elektrodo išmetami vario kationai, o ne cinko kationai? Todel, kad cinko ionizacijos tensija yra žymiai didesnė, kaip vario ionizacijos tensija. Taigi, atskirti cinko kationai nuo jų teigiamų įlydžių yra daug sunkiau, kaip atleisti vario kationai nuo jų elektros įlydžių. Vienu žodžiu, ant vario išmetami vario kationai todel, kad nuo jų lengviau nuimti jų teigiamieji įlydžiai kaip nuo cinko kationų. Mes galime per Danielio elementą paleisti srovę, sakysime, iš galvaninės batarejos, taip kad ta srovė eitų iš batarejos į cinką, paskui nuo cinko per abudu elekrolitus į varį ir iš vario į batareją atgal. Tada cinkas bus anodu, o varis katodu, cinkas tirps, kitaip sakant, ionizuosis, o varis bus išmetamas ant katodo. Vadinasi, mes čia turėsime tą patį procesą, kaip ir sujungę varį ir cinką viela. Jeigu paimta batareja yra didelio įtempimo, tai leidžiant srovę nuo jos per Danielio elementą, kaip čia pasakyta, bus išmetami ant vario ne tik vario kationai, bet ir vandenilio kationai ir cinko kationai. Bet prie įtempimų, kurie yra ne perdaug didesni kaip Danielio elektrovaromoji jėga, leidžiant srovę nuo batarejos per Danielio elementą kryptimi nuo cinko į varį cinkas tirps, o varis nuguls ant elektrodo iš vario. O paleidus srovę nuo batarejos taip, kad ji eitų iš pradžios į varį, paskui nuo vario per elektrolitą į cinką ir nuo cinko atgal į batareją, varis bus anodu, o cinkas katodu. Taigi, varis tirps, arba ionizuosis, o cinko ionai arba kationai bus išmetami ant cinko. Taigi, šituo atveju mes turėsime išspaudimą cinko ionų vario ionais, o pirmuoju atveju arba paprastai, uždarius elementą viela, mes turime išspaudimą vario ionais. Ir vienu ir antru atveju medžiaga elektrodų visiškai nepakis, ir todel mes čia turime procesą be elektrodų polarizacijos arba elementą su apverčiamais elektrodais.

Išaiškinę elektromotoriško proceso mechanizmą, sekdami Nernstu, duosime dabar trumpai išvadą galvaninio elemento elektrovaromosios jėgos formulos, prisilaikydami to paties Nernsto argumentacijos. Šitam tikslui pasinaudosime visų pirma paminėtu jau anksčiau koncentracijos elementu, kurio schemą atvaizduoja 209 piešinys. Čia mes turime du elektrodus to paties metalo, sakysime, sidabro, įmerktus į sidabro nitratą, bet nevienodos koncentracijos. Abudu tirpalai ir čia perskirti diafragma iš akytos medžiagos, kad būtų sulaikytas jų susimaišymas. Jeigu abudu tirpalai būtų tos pačios koncentracijos, tai prityrimas rodo, kad įmerkę į juos dvi sidabro plokšteles ir sujungę

tas plokšteles viela, mes negausime srovės, t. y. algebrinė suma visų potencialų kontakto vietose bus čia lygi nuliui. Šitas prityrimo faktas visai suprantamas iš to, kas čia anksčiau pasakyta apie elektrovaromojo proceso mechanizmą. Bet, jeigu tirpalų koncentracijos bus nevienodos, tai sidabro plokštelė, įmerkta į stipresnį tirpalą, užsitaisys teigiamai, o įmerkta į silpnesnį tirpalą užsitaisys neigiamai, ir sujungę abidvi sidabro plokšteles viela, mes gausime srovę. Tai rodo prityrimas. Pažymėsime ionų koncentracijas iš eilės raidėmis c_1 ir c_2 ir tų pačių ionų osmatinius spaudimus iš eilės raidėmis p_1 ir p_2 ir sakysime, kad $c_2 > c_1$ ir $p_2 > p_1$. Čia mes turime tris kontakto vietas, būtent: 1) kontaktas sidabro su silpnesniu tirpalu. Čia, einant Nernstu, atdarame elemente susidaro dvigubas sluogsnis elektros, būtent, — elektros sluogsnis ant sidabro, o + elektros sluogsnis ant elektrolito. Taigi, čia mes turėsime perėjimą nuo — potencialo į + potencialą, arba potencialo pakilimą, kurį pažymėsime raide E_1. Abudu tirpalai sidabro nitrato atskirti čia vienas nuo antro diafragma. Bet, kadangi ionų koncentracijos nevienodos, tad tie tirpalai stengiasi susimaišyti difuzijos keliu. Vadinasi, kationai sidabro ir anionai NO_3 slenka iš tirpalo koncentracijos c_2 per diafragmą į tirpalų koncentraciją c_1. Bet anionai turi didesnį greitumą, kaip sidabro kationai, ir todel vykstant difuzijai iš dešinės pusės diafragmos susidaro + elektros sluogsnis, o iš kairės pusės — elektros sluogsnis, kitaip sakant, čionai mes turime irgi potencialo pakilimą kontakto vietoje abiejų tirpalų nuo silpnesnio tirpalo į stipresnį tirpalą. Pažymėsime šitą potencialo pakilimą raide E_2. Pagaliau kontakto vietoje sidabro su stipresniu tirpalu, sekdami Nernstu, mes turime dvigubą elektros sluogsnį, būtent: + elektros sluogsnį turime ant sidabro, o — elektros sluogsnį ant elektrolito. Taigi ir čia turime potencialo pakilimą pereinant nuo elektrolito į metalą. Pažymėsime šitą potencialo pakilimą raide E_3.



209 pieš.

Sujungus abidvi sidabro plokšteles viela, srovė eis ta prasme, kad abiejų tirpalų koncentracijos išsilygintų, nes čia elektrinė energija bus išdava susimaišymo dviejų tirpalų nevienodos koncentracijos. Taigi srovė eis taip, kad sidabras tirptų arba ionizuotųsi ten, kur jis yra kontakte su silpnesniu tirpalu ir būtų išmetamas ant tos sidabro plokštelės, kuri yra kontakte su stipresniu tirpalu. Vadinasi, sidabras kontakte su stipresniu tirpalu bus teigiamu elektrodu, o sidabras kontakte su silpnesniu tirpalu bus neigiamu elektrodu. Einant srovei, sidabro koncentracija iš kairės pusės (žiūr. 209 pieš.) stiprės, o koncentracija iš dešinės pusės mažės. Taigi aišku, kad srovė tęsis tol, kol tos koncentracijos išsilygins. Pažymėsime šito elemento elektrovaromąją jėgą raide E. Tad' iš to, kas anksčiau pasakyta, mes galime parašyti tokią lygtį: $E = E_1 + E_3 + E_2$. Matuojant tokio elemento elektrovaromąją jėgą kompensacijos metodu per elementą visiškai neis srovė ir todel mes visose kontakto vietose turėsime pusiausvyros būklę. Turint pusiausvyros būklę kontakto vietose apskaityti kontakto potencialams E_1, E_2, E_3, Nernstas taikina Lagrange'o principą (žiūr. „Mechanikos“ 42 §, 71, 72 puslap.). Tasai principas sako, kad jeigu kokia materialinė sistema randasi pusiausvyros būklėje, tai algebrinė darbų suma galimų, surišta su labai mažomis sistemos dalių atmainomis, yra lygi nuliui, pasiliekant sistemos tūriui be atmainos. Kitaip sakant, labai mažos atmainos sistemoje, kuri randasi pusiausvyroje, nepanaikina jos pusiausvyros. Tai atsimindami pravarysime labai mažą elektros kiekį δF kulonų per kontakto vietą E_3 kryptimi nuo metalo į elektrolitą (žiūr. 209 pieš.). Tuo būdu δx gramionų sidabro pereis iš sidabro plokštelės į tirpalą. Atliktas čia elektriškas darbas bus $E_3.\delta F$ Volt - kulonų, ir tas darbas turės čia teigiamą ženklą, nes elektra, pravaryta nuo + potencialo į — potencialą. Aplamai, darbas turi teigiamą ženklą tada, kada jėgos veikimo kryptis ir judėjimo kryptis sutampa. Kada judėjimas ir jėga atkreipti vienas prieš antrą, tada atliktas

darbas turi ženklą —. Pažymėsime sidabro ionizacijos tensiją raide P. Pereinant δx gramionų iš sidabro į tirpalą bus atliktas tam tikras osmotinis darbas, kuris galima apskaityti taip, kaip apskaitomas darbas pereinant dujoms nuo didesnio spaudimo į mažesnį spaudimą, kitaip sakant, izotermiškai plečiantis dujoms (žiūr. „Šilim'os", 22 §, 155, 156 puslap.), nes, kaip jau mes žinome, osmotiniam spaudimui veikia Boyle - Mariotto ir Gay - Lussaco dėsniai. Taigi vienam gramionui sidabro tas darbas bus $RT \ln \frac{P}{p_2}$, nes pereinant 1 gramionui sidabro į tirpalą jo spaudimas kinta nuo P ligi p_2, o pereinant δx gramionams atliktas darbas bus $\delta x RT \ln \frac{P}{p_2}$. Kadangi mes čia turime darbo su labai mažomis atmainomis, tai einant Lagrange'o dėsniu mes turime tokią lygtį: $E_3 \delta x + \delta x RT \ln \frac{P}{p_2} = 0$, arba $E_3 \delta F = - \delta x RT \ln \frac{P}{p_2}$, arba $E_3 = - \frac{\delta x}{\delta F} RT \ln \frac{P}{p_2}$. Santykis $\frac{\delta F}{\delta x}$ yra lygus nF, nes tai bus kulonų skaičius, surištas su vienu gramionu, o mes jau žinome, einant Faraday'aus elektrolizės dėsniu, kad tasai kulonų skaičius yra lygus F, padauginus į iono valentingumą. Tai žinodami, mes galime parašyti:

$E_3 = - \frac{RT}{nF} \ln \frac{P}{p_2} = \frac{RT}{nF} \ln \frac{p_2}{P}$. Sidabrui $n = 1$, nes sidabro kationai vienvalentingi.

Apskaitysime dabar potencialą E_2 (arba potencialo kritimą) kontakto vietoje dviejų elektrolitų. Pravarius labai mažą elektros kiekį δF kulonų per kontakto vietą E_3, tas pats kulonų skaičius pereis ir per kontakto vietas E_2 ir E_3 ir ta pačia kryptimi, būtent, kryptimi teigiamos elektros judėjimo (nuo + sluogsnio į — sluogsnį). Taigi tam tikras kationų kiekis pereis per diafragmą iš dešinės elemento pusės į kairę pusę (žiūr. 209 pieš.) ir tuo pačiu laiku kitas kiekis anionų pereis per diafragmą iš kairės į dešinę elemento pusę. Kadangi kationų transporto skaičius yra $\frac{u}{u+v}$, o anionų $\frac{v}{u+v}$, tad su kationais pereis per diafragmą $\delta F \left(\frac{u}{u+v}\right)$ kulonų + elektros ir tuo pačiu laiku priešinga kryptimi su anionais pereis per diafragmą $\delta F \left(\frac{v}{u+v}\right)$ kulonų — elektros. O iš viso su anionais ir kationais pereis δF kulonų elektros. Jeigu gramiono valentingumas yra n, kiekvienas gramionas perkelia su savimi n. F kulonų. Tai atsimenant, perėjus elektros kiekiui δF per diafragmą, skiriančią abudu elektrolitus, bus perkelta $\frac{\delta F}{nF} \left(\frac{u}{u+v}\right)$ gramkationų iš dešinės elemento pusės į kairę pusę ir bus atliktas osmotinis darbas $\frac{\delta F}{nF} \left(\frac{u}{u+v}\right) RT \ln \frac{p_2}{p_1}$, nes kationai pereina čia nuo didesnio osmotinio spaudimo p_2 į mažesnį osmotinį spaudimą p_1 (vadinasi, mes čia turime kaip ir išsiplėtimą). Tuo pačia laiku $\frac{\delta F}{nF} \left(\frac{v}{u+v}\right)$ gramanionų pereis iš kairės elemento pusės į dešinę pusę ir bus atliktas osmotinis darbas $\frac{\delta F}{nF} \left(\frac{v}{u+v}\right) RT \ln \frac{p_1}{p_2}$, nes anionai pereina čia nuo osmotinio spaudimo p_1 į osmotinį spaudimą p_2. Be to, perėjus elektros kiekiui δF per diafragmą teigiamos elektros judėjimo kryptimi, atliktas elektriškas darbas bus $E_2 \delta F$. Taigi, sekdami Lagrange'o principu, mes turėsime:

$E_2 \delta F + \frac{\delta F}{nF} \left(\frac{u}{u+v}\right) RT \ln \frac{p_2}{p_1} + \frac{\delta F}{nF} \left(\frac{v}{u+v}\right) RT \ln \frac{p_1}{p_2} = 0$. Iš to padaliję abidvi lygties

puses į δF ir perkėlę osmotinio darbo narius į dešinę lygties pusę, turėsime:

$$E_2 = -\frac{u}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{p_1} - \frac{v}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{p_1}{p_2},$$

$$\text{arba } E_2 = -\frac{u}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{p_1} + \frac{v}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{p_1},$$

$$\text{arba } E_2 = \frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{p_1}\left(\frac{v}{u+v} - \frac{u}{u+v}\right),$$

$$\text{arba } E_2 = \frac{v-u}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{p_1}.$$ O tai ir bus formula potencialui E_2 kontakto vietoje abiejų elektrolitų, kada anionai yra greitesni kaip kationai. Priešingu atveju iš kairės pusės diafragmos bus + elektros sluogsnis, iš dešinės bus — elektros sluogsnis, ir tada tasai potencialas $E_2 = \frac{u-v}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{p_1}$ (tai nesunku suvokti pačiam skaitytojui).

Taip pat kontakto vietoje E_1 pereis elaktros kiekis δF kulonų kryptimi + elektros judėjimo, vadinasi, nuo elektrolito į sidabro plokštelę, kuri čia yra neigiama, ir atliktas elektriškas darbas bus $E_1\,\delta F$ volt-kulonų. Tuo pačiu laiku δx gramionų sidabro pereis iš elektrolito į sidabro plokštelę nuo osmotinio spaudimo p_1 į spaudimą P (reikia atsiminti, kad P einant Nernstu yra sidabro ionizacijos tensija) ir todel bus atliktas osmotinis darbas $\delta x\,RT\ln\frac{p_1}{P}$. Taigi einant Lagrange'o principu $E_1\,\delta F + \delta x\,RT\ln\frac{p_1}{P} = 0$.

Iš to; $E_1 = -\frac{\delta x}{\delta F}RT\ln\frac{p_1}{P}$, arba atsimenant, kad $\frac{\delta F}{\delta x} = nF$, $E_1 = \frac{RT}{nF}\ln\frac{P}{p_1}$. Kadangi svarstomojo koncentracijos elemento elektrovaromoji jėga $E = E_1 + E_3 + E_2$, tai pakeitę E_1, E_3 ir E_2 surastomis jų formulėmis, mes gausime:

$$E = \frac{RT}{nF}\ln\frac{P}{p_1} + \frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{P} + \frac{v-u}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{p_1},$$

$$\text{arba } E = \frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{p_1}\left(1 + \frac{v-u}{u+v}\right), \text{ arba } E = \frac{2v}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{p_2}{p_1}.$$ Kadangi osmotiniai spaudimai p_2 ir p_1 proporcingi ionų koncentracijoms c_2 ir c_1, tad mes galime išreikšti elektrovaromąją jėgą ir šitaip: $E = \frac{2v}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{c_2}{c_1}$. Iš šitos formulos aišku, kad $E = 0$, kada $c_2 = c_1$, kitaip sakant, turint iš abiejų pusių diafragmos elektrolitus vienodų ionų koncentracijų, elektrovaromoji jėga bus lygi nuliui. Tai bus tas pats, kaip įmerkus du vienodus elektrodus į tą patį elektrolitą, — faktas, dar Voltos konstatuotas. Vadinasi, nebus jokios difuzijos ionų, nebus ir jokio susimaišymo elektrolitų, ir todel nebus ir jokios elektrinės energijos judėjimo. Antra vertus, kada $u = v$, tada $E = \frac{RT}{nF}\ln\frac{c_2}{c_1}$. Vadinasi, tada anionų ir kationų greitumai vienodi, tada nebus jokio potencialų skirtumo kontakto vietoje dviejų elektrolitų, ir elektrovaromoji jėga tokio koncentracijos elemento bus lygi sumai potencialų abiejų metalo plokštelių. Priminsime ir čia, kad tais atvejais, kada kationas bus greitesnis kaip anionas, formula elektrovaromajai jėgai bus ši: $E = \frac{2u}{u+v}\frac{RT}{nF}\ln\frac{c_2}{c_1}$. Pabrėšime čia dar, kad visa eilė koncentracijos elementų elektrovaromosios jėgos matavimų visai patvirtina šitą Nernsto formulą.

Helmholtz'as, žymiai anksčiau kaip Nernstas, irgi išvedė šitą formulą eidamas termodinaminiais samprotavimais, t. y. visiškai nepriklausomai nuo elektrolitinės diso-

ciacijos teorijos. Kadangi čia abiejų elektrolitų koncentracijų spontaninis išsilyginimas yra išteklius elektros energijos, tad galima apskaityti šita elektros energija atliekant apverčiamą Carnoto ciklinį procesą su vandeniu, t. y. apverčiamai destiliuojant vandenį iš silpnesnio tirpalo ir kondensuojant tą vandenį stipresniam tirpale. Šitokį apverčiamą ciklinį procesą yra atlikęs Helmholtz'as, ir šito proceso išdava buvo jo galėjimas apskaityti maksimum darbo, kuris šituo atveju yra lygus difuzijos proceso elektros energijai. Helmholtz'o formula niekuo nesiskiria nuo Nernsto formulos, ir mes paminėjome ją norėdami parodyti, kad šituo atveju elektrolitinės disociacijos teorijos išvados turi tvirtą termodinamikos pagrindą.

Pagaliau, grįšime dar prie Danielio elemento (žiūr. 208 pieš. schemą) ir parodysime, kaip galima pritaikyti Nernsto metodas Danielio elemento ir panašių, apverčiamai dirbančių, kitų galvaninių elementų elektrovaromajai jėgai apskaityti. Suprastindami uždavinį pagaminsime tokius cinksulfato ir vario sulfato tirpalus, kad ionų koncentracijos būtų vienodos. Žinant, kad cinko ionų ir vario ionų greitumai yra vienodi, tokiu atveju nebus jokios priežasties del susidarymo potencialų skirtumo abiejų elektrolitų kontakto vietoje (arba iš vienos ir iš antros diafragmos pusės). Vadinasi, mes turėsime tada tik darbo su potencialų skirtumais kontakto vietoje cinko ir cinksulfato iš vienos pusės ir vario ir vario sulfato iš antros. Pažymėsime cinko ionizacijos tensiją raide P_{Zn} ir vario ionizacijos tencija P_{Cu} ir, pagaliau, osmotinį spaudimą ionų elektrolituose raide p (tas spaudimas bus ir cinko ir vario ionams tas pats, nes mūsų paimti tirpalai tos pačios ionų koncentracijos). Pažymėsime dar Danielio elemento elektrovaramąją jėgą raide E. Veikiant Danielo elementui (kaip rodo 208 pieš.) + elektra juda per elektrolitus nuo cinko į varį. Pravarysime dabar per Danielio elementą labai mažą kiekį + elektros δF kulonų priešinga kryptimi, būtent, nuo vario į cinką. Kadangi šita elektra tekės nuo vario į elektrolitą, t. y. kryptimi + elektros ir toliau ta pačia kryptimi nuo elektrolito į cinką, atliktas elektriškas darbas čia bus + E. δF. Perėjus elektros kiekiui δF per Danielio elementą pažymėta čia kryptimi, δx gramionų vario pereis iš metalo į elektrolitą ir atliks osmotinį darbą $\delta x RT \ln \frac{P_{Cu}}{p}$. Tuo pačiu laiku δx gramionų cinko pereis iš elektrolito į cinką ir atliks osmotinį darbą $\delta x RT \ln \frac{p}{P_{Zn}}$. Taigi Lagangre'o principu mes turėsime: $+E.\,\delta F + \delta x RT \ln \frac{P_{Cu}}{p} + \delta x RT \ln \frac{p}{P_{Zn}} = 0$,

iš to: $E = -\frac{\delta x}{\delta F} RT \ln \frac{P_{Cu}}{p} - \frac{\delta x}{\delta F} RT \ln \frac{p}{P_{Zu}}$, arba $E = \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{p}{P_{Cu}} \cdot \frac{P_{Zn}}{p} \right) = \frac{RT}{nF} \ln \frac{P_{Zn}}{P_{Cu}}$.

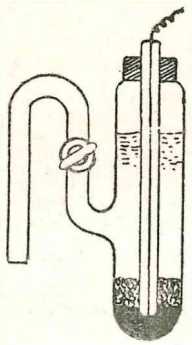
Taigi, turint vienodos ionų koncentracijos cinksulfatą ir vario sulfatą, apskaityti apverčiamai dirbančio Danielio elemento elektrovaromajai jėgai reikia žinoti ionizacijos tensija cinko ir vario. Bet reikia pasakyti, kad labai sunku yra konkretizuoti šitą Nernsto koncepciją „ionizacijos tensija". Iš įvairių elementų elektrovaromų jėgų matavimo galime apskaityti šituos dydžius, kurie turi osmotinio spaudimo pobūdį. Pasirodo, kad tie dydžiai svyruoja tarp be galo didelių ir be galo mažų skaičių, kaip rodo šie skaičiai.

Metalai	Ionizacijos tensija.
Cinkas	$9{,}9.10^{18}$ atmosferų
Nikelis	$1{,}3.10^{0}$ „
Paladius	$1{,}5.10^{-36}$ „

Sunku pripažinti šitiems skaičiams fizinės reikšmės, nes, sakysime, ionizacijos tensija paladio tokia maža, kad, priėmus ją, reikėtų atmesti molekulinė - atominė teorija. Dalykas tas, kad skysčiai susideda iš molekulų vidutinio diametro apie 10^{-8} cm. Taigi aišku, kad sudarymas tokio žemo spaudimo, kaip paladio ionizacijos tensija, yra ne-

galimas daiktas, nes spaudimas pareina nuo molekulų judėjimo ir nuo jų smūgių į pertvarą arba, aplamai, į kokią nors kliūtį, ir kad tas spaudimas būtų šiek tiek žymus, reikalingas smūgis daugybės molekulų. Apskaitant paladio kiekį, kuris reikalingas tam, kad būtų sudarytas toks be galo mažas spaudimas, gausime masę mežesnę, ne tik už atomo masę, bet ir už elektrono masę. Del to šiandien Nernsto ionizacijos tensija laikoma grynu matematiškuoju dalyku, būtent, integracijos konstanta.

Danielio elemento elektrovaromosios jėgos formula bus painesnė tada, kada cinko sulfato ir vario sulfato ionų koncentracija bus nevienoda ir atatinkamai bus nevienodi osmotiniai ionų spaudimai. Nepaisydami potencialų skirtumo kontakto vietoje abiejų elektrolitų, kuris yra, aplamai, labai mažas dydis, mes turėsime tada šią formulą elektrovaromajai jėgai: $E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{Pzn}{p_1} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{p_2}{Pcu}$. Iš šitos formulos aišku, kad elektrovaromoji jėga bus algebrinė suma potencialų cinko ir vario kontakte su elektrolitais. Surasti šitiems potencialams vartojami vadinami normaliniai elektrodai, iš kurių vienas geriausių ir dažniausiai vartojamų kalomelio normalinis elektrodas. Šitą elektrodą atvaizduoja 210 piešinys. Mes čia turime pakankamai platų bandymo vamzdį iš storo stiklo padarytą, ant kurio dugno randasi sluogsnis chemiškai tyraus gyvsidabrio. Viršuj šito gyvsidabrio sluogsnio randasi sluogsnis pastos iš kieto kalomelio (HgCl) ir KCl normalaus tirpalo ir viršuj šitos pastos normalus tirpalas kalio chlorido. Kad turėtume metališką sujungimą su gyvsidabriu, per vamzdžio kamštį prakištas stiklo vamzdelis, į kurį apačioj įlydyta trumpa platinos viela. Į vamzdelį irgi įpilta gyvsidabrio, o į tą gyvsidabrį įkišta vario viela, kaip rodo 210 piešinys. Be to, prie bandymo vamzdžio iš šono prinituotas užlenktas žemyn ∩ - pavidalo stiklo vamzdis su bėgtuvu. Potencialą gyvsidabrio kontakte su kalomeliu galime išmatuoti įvairiais būdais ir šiandien jis pripažintas lygiu — 0,520 voltų.



210 pieš.

Šitas elektrodas yra apverčiamas chloro ionų atžvilgiu, nes, einant srovei nuo gyvsidabrio į elektrolitą, gyvsidabris pereina į tirpalą ir suriša chloro ioną einant lygtimi $Hg^{\cdot} + Cl^{1} = HgCl$ (kalomelis), o einant srovei nuo elektrolito į gyvsidabrį ant gyvsidabrio paviršiaus išsilydina gyvsidabrio ionai ir pasidaro laisvi chloro ionai. Taigi, elektrodo sudėtis nekinta, o tik truputį kinta elektrolito koncentracija, bet tas neturi žymios įtakos šitam elektrodo potencialui. Potencialas turi ženklą —, nes gyvsidabris turi labai mažą ionizacijos tensiją ir sunkiai pereina iš metališkos būklės į ionų būklę, o lengvai pereina iš ionų būklės į metališką būklę.

Norėdami surasti įvairių metalų potencialus, galime sudaryti galvaninį elementą iš normalaus arba standarto elektrodo ir bandomojo metalo. Pavyzdžiui, mes norime surasti potencialą cinko normaliame tirpale cinko sulfato. Mes imame stiklo indą arba net ir bandomąjį vamzdelį, įpiliame normalaus tirpalo cinko sulfato, įkišame cinko stiebą ir į tą patį bandymo vamzdį įkišame užlenktą žemyn vamzdį normalaus elektrodo (žiūr. 210 pieš.). Atidarę bėgtuvą užlenkto vamzdžio, mes sudarysime kontaktą tarp abiejų elektrolitų, ir turėsime galvaninį elementą: $Zn \mid ZnSO_4$ (norm.) KCl (norm.) $HgCl \mid Hg$. Cinkas čia bus neigiamu elektrodu, o gyvsidabris teigiamu, ir reakcija čia pasireikš tuo, kad cinkas ionizuosis, o gyvsidabrio ionai bus išlydomi ant gyvsidabrio paviršiaus, vienu žodžiu, čia mes turėsime išspaudimą gyvsidabrio cinku ir šitos reakcijos šilima virs čia elektros energija. Kompensacijos metodu mes galime išmatuoti šito galvaninio elemento elektrovaromąją jėgą. Ji bus lygi 1,02 voltų. Kadangi šita elektrovaromoji jėga yra lygi skirtumui elektrodų potencialų, nes tie potencialai atkreipti vienas prieš kitą, tai cinko potencialas bus lygus $1{,}02 - 0{,}52 = +0{,}5$ voltų. Mes čia nepaisome potencialų

skirtumo kontakto vietoje dviejų elektrolitų, nes tasai potencialų skirtumas yra čia labai mažas del vienodo greitumo kalio ionų ir chloro ionų, o šitoje kombinacijoje kaip tik KCl perskiria abudu elektrolitus: cinko sulfatą ir kalomelį. Aplamai, kada norima sumažinti arba eliminuoti potencialų skirtumas kontakto vietoje dviejų elektrolitų, tarp jų įterpiama arba kalio chlorido tirpalas arba amonio nitrato tirpalas. Tokiu pat būdu galime nustatyti ir kitų metalų potencialus, nes normalaus elektrodo potencialas turi pastovumą, o tas pastovumas pareina nuo to, kad elektrodas apverčiamas, vadinasi, nesipolarizuoja. Duosime čia keletą skaičių, kurie liečia potencialus įvairių metalų normaliuose tirpaluose jų druskų. Vadinasi, ir čia mes visur turėsime apverčiamus elektrodus.

Manganas	+ 0,80 voltų
Cinkas	+ 0,50 „
Kadmis	+ 0,15 „
Geležis (dvivalentinga)	+ 0,07 „
Švinas	— 0,12 „
Vandenilis	— 0,27 „
Varis	— 0,60 „
Gyvsidabris (vienvalentingas)	— 1,02 „
Sidabras	— 1,04 „

Čia ženklą + turi visi tie metalai, kurie charakterizuojasi didele ionizacijos tensija, kurie, vadinasi, labai lengvai pereina iš metališkos būklės į ionų būklę. Šita metalų eilė yra tikra elektrochemiška eilė ir duoda ji, taip sakant, chemišką gimiringumą teigiamos elektros atžvilgiu. Todel tie metalai, kurie stovi eilėj augščiau, išspaudžia metalus stovinčius žemiau, nors ir yra anomalijų, kurios vienok visuomet galima išaiškinti tomis ar kitomis ypatingomis reakcijos sąlygomis. Kadangi sudarant iš tų metalų ir jų druskų normalių tirpalų galvanines kombinacijas, metalų potencialai visuomet atkreipti vienas prieš kitą, tai apskaitant elektrovaromąją jėgą tokių kombinacijų reikia visuomet nuo didesnio teigiamo potencialo atimti mažesnis potencialas (teigiamas arba neigiamas). Pavyzdžiui, elektrovaromoji jėga Danielio elemento bus lygi cinko ir vario potencialų skirtumui, t. y. bus lygi 0,50 — (—0,60) = 1,10 voltų, kas atatinka tikrenybę, nes matavimai duoda 1,09 — 1,10 voltų arba elektrovaromoji jėga elemento, sudaryto iš kadmio ir gyvsidabrio ir jų druskų normalių tirpalų, bus 0,15 — (—1,02) = + 1,17 voltų.

Einant tais potencialais galima apskaityti ionizacijos tensija įvairiems metalams.

Pažiūrėsime dabar, kaip pareina metalų potencialai nuo jų ionų koncentracijos. Kaip jau mes matėme, elektrovaromoji jėga koncentracijos elemento yra lygi $\frac{RT}{nF} \ln \frac{C_2}{C_1}$ tais atvejais, kada nesusidaro potencialų skirtumo kontakto vietoje abiejų elektrolitų arba kada tas potencialų skirtumas yra labai mažas. Kad galima būtų operuoti su decimaliais logaritmais, reikia vartoti šitokia formula: $\frac{2.303\,RT}{nF} \log. \frac{C_2}{C_1}$. Skaičius 2,303 yra modulis perėjimo nuo natūralių logaritmų į decimalius. Be to, reikia R (generalinė dujų konstanta, apskaityta vienai grammolekulai) išreikšti voltkulonais arba jouliais, t. y. paimti R = 8,32 joulių. Apskaitydami elektrovaromąją jėgą temperatūrai 18°C mes turėsime: $E = \frac{2,303.\,8,3\,(273+18)}{n.\ 96540} \log \frac{C_2}{C_1} = \frac{0,058}{n} \log \frac{C_2}{C_1}$. Kada $\frac{C_2}{C_1} = 10$, t. y. kada vienas tirpalas normalus, o antras decinormalinis (10 sykių silpnesnis), tada $\log \frac{C_2}{C_1} = 1$ ir $E = \frac{0,058}{n}$ voltų. Vadinasi, susilpnėjus metalinių ionų koncentracijai 10 sykių metalo potencialas (elektrovaromoji jėga) 18°C temperatūroje vienvalentingiems metalams padidės per 0,058 voltų, o dvivalentingiems metalams padidės tik per 0,029 voltų. Kadangi cinkas

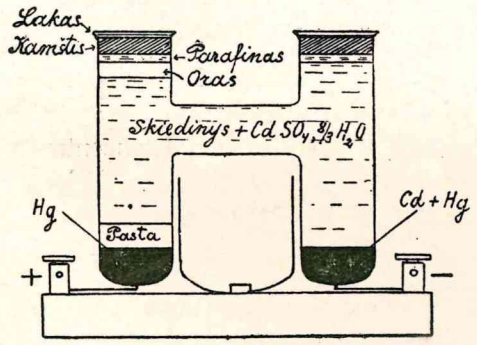
ir varis abudu dvivalentingi metalai ir kadangi jų potencialai visuomet priešingai atkreipti, tad Danielio elemento elektrovaromoji jėga nekis keičiant koncentraciją cinko sulfato ir vario sulfato vienodai. Vadinasi, Danielio elementas turės tą pačią elektrovaromąją jėgą, ar mes paimsime stiprius tirpalus cinko sulfato ir vario sulfato, ar silpnus.

Turint apverčiamus elektrodus leidžiant srovę viena kryptimi, metalas ionizuosis, o leidžiant srovę priešinga kryptimi, metalo ionai bus išlydomi. Taigi, greta su ionizacijos tensija arba ionizacijos potencialu elektrolitiniuose procesuose tenka skaityti su išlydymo potencialais. Aišku, kad ionizacijos potencialas ir išlydymo potencialas turi būti lygūs didumo atžvilgiu, nes kitaip mes turėtumėm prieštaravimą energijos išlaikymo dėsniui. Taigi augščiau patiekta metalų potencialų eilė yra tuo pačiu laiku ir jų išlydymo potencialų eilė. Taigi, turint šitą eilę potencialų, ir žinant, kaip pareina potencialas nuo ionų koncentracijos, visuomet galima bet kuriai ionų koncentracijai išskaičiuoti ionizacijos potencialas arba išlydymo potencialas.

Atliekant elektrovaromosios jėgos matavimus kompensacijos metodu reikia turėti normalus elementas arba elementas standartas. Tokių elementų yra du, būtent: Clarko elementas ir Westono elementas. Clarko elementas sudaromas šitaip: ant dugno pakankamai plataus bandomojo vamzdžio randasi gyvsidabrio sluogsnis, ant to sluogsnio sluogsnis pastos iš kieto merkuro sulfato (Hg_2SO_4), ir stipraus cinko sulfato tirpalo ir, pagaliau, viršuj šitų abiejų sluogsnių stulpas stipraus cinko sulfato tirpalo. Apačioj į tą vamzdį įlydyta platinos viela. Ji randasi kontakte su gyvsidabriu. Viršuj vamzdis uždaromas kamščiu, per kurio skylę į cinko sulfatą prakišamas chemiškai tyraus cinko stiebas arba stiebas iš kietos cinko amalgamos. Taigi, Clarko elemento schema yra ši

$$Zn\left|\begin{matrix}Zn\ SO_4\\ magma\end{matrix}\right|\left|\begin{matrix}Hg_2\ SO_4\\ Zn\ SO_4\end{matrix}\right|Hg$$

Jo elektrovaromoji jėga prie temperatūros 15 C yra lygi 1,4325 voltų ir temperatūrinis koeficientas elektrovaromosios jėgos $\frac{dE}{dT} = -0{,}001197$. Vadinasi, kylant temperatūrai šito elemento elektrovaromoji jėga truputį mažėja, krintant temperatūrai truputį didėja.



211 pieš.

Westono elementą standartą atvaizduoja 211 piešinys. Mes čia turime stiklo indą raidės H formos. Vienoje šakoje ant dugno randasi tyras gyvsidabris ir ant jo sluogsnis pastos, sudarytos iš merkūro sulfato (Hg_2SO_4) ir gyvasidabrio ir kadmio sulfato. Antroje šakoje ant dugno randasi kadmio amalgama (13% kadmio ir 87% gyvsidabrio). Likusioji abiejų indo šakų dalis ir jungiančio tas šakas kanalo dalis užpildyta tirpalo kadmio sulfato šios sudėties: $3CdSO_4 + 8H_2O$. Viršuj abidvi šakos užkimštos kamščiais ir užlietos laku. Apačioj į abidvi šakas įlydytos platinos vielos, kurios sudaro kontaktą iš vienos pusės su gyvsidabriu, iš antrosios amalgama. Tų vielų galai prijungti prie sraigtų, pažymėtų ženklais + ir —. Schema su Westono elemento yra ši.

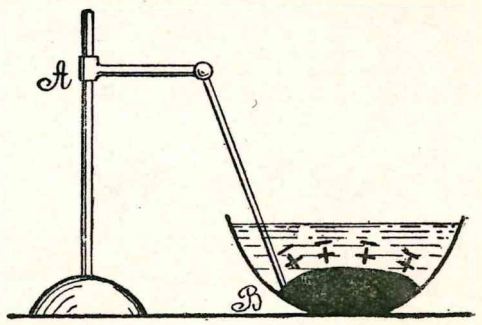
$$Cd\left|\begin{matrix}Cd\ SO_4\\ 8/3\ H_2O\end{matrix}\right|\left|\begin{matrix}Hg_2\ SO_4\\ pasta\end{matrix}\right|Hg$$

Gyvasidabris yra + elektrodas, o kadmio amalgama yra — elektrodas. Jo elektrovaromoji jėga temperatūroj 20°C yra lygi 1,0183 voltų. Temperatūrinis elektrovaromosios jėgos koeficientas $\frac{dE}{dT} = -0{,}00003865$. Taigi, temperatūrinis koeficientas

yra toks mažas, kad galime laikyti Westono elektrovaromąją jėgą nepriklausoma nuo temperatūros. Abudu šitie elementai yra pastovūs, apverčiami (nepolarizuojasi) ir, kadangi jie uždaryti, jokių nešvarumų į juos patekti negali ir todel jie ir vartojami elementais standartais. Dažniausiai vartojamas Westono elementas, nes jis yra patogesnis ir mažiau jautrus temperatūrai, kaip Clarko elementas.

Išdėstyti čia dalykai galutinai buvo nustatyti XIX amžiaus pabaigoje. Vadinasi, galvaninio elemento problema, iškelta Voltos pabaigoje XVIII amžiaus, buvo išspręsta tik 100 metų praėjus.

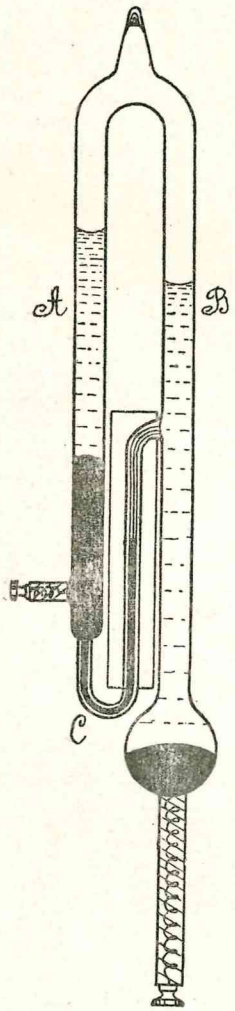
Kaipo perėjimą prie galvaninės polarizacijos aprašysime čia vieną įdomų ir senai žinomą bandymą. Paimsime vadinamą laikrodžio stiklą kiek platesnį, užpilsime ant jo didesnį lašą gyvsidabrio, o viršuj gyvsidabrio užpilsime sieros rūgšties tirpalo, į kurį įlašinsime porą lašų kali bichromato, kuris reikalingas tam, kad būtų palaikytas gyvsidabrio paviršius švarioje būklėje. Įdėsime į štatyvo klemą kamštį su geležiniu stiebu su aštriu apatiniu galu ir pritaikysim štatyvą ir klemą taip, kad aštrus galas geležinio stiebo vos tik paliestų gyvsidabrio (žiūr. 212 pieš.) paviršių arčiau nuo stiklo. Gyvsidabris tuojau ima judėti: tai susitraukia, tai išsiplečia (iš eilės išsigaubia ir susiploja), ir toksai gyvsidabrio judėjimas gali tęstis ištisomis valandomis. Kadangi tasai judėjimas panašus į širdies judėjimus, tad šitas bandymas yra žinomas elektriškos širdies vardu. Tokis vardas buvo duotas todel, kad buvo spėjama, jog čia veikiančios Voltos išrastos kontakto jėgos; bet galutinai šito fenomeno mechanizmas buvo išaiškintas tik subrendus augščiau išdėstytai galvaninio elemento teorijai. Dalykas tas, kad gyvsidabris dalinai tirpsta sieros rūgštyje, sudarydamas merkūro sulfatą, kuris elektrolitiškai disociuotas, einant lygtimi: $Hg_2\,SO_4 \rightleftarrows Hg^{\cdot} + Hg^{\cdot} + SO_4''$. Bet mes jau žinome, kad gyvsidabrio ionizacijos tensija yra labai maža ir todel kontakte su elektrolitu, kuriame randasi jo kationai, gyvsidabris tuojau užsitaiso elektriškai teigiamai, t. y. ant gyvsidabrio paviršiaus tuojau išsilydina nedidelis kiekis gyvsidabrio kationų, o ant sieros rūgšties sluogsnio kontakte su gyvsidabriu susidaro — elektros sluogsnis. Šiandien tas yra nustatytas faktas. Tarp šitų dviejų elektros sluogsnių veikia elektrostatinė traukos jėga, ir tos jėgos padarinys yra gyvsidabrio paviršiaus įtempimo sumažėjimas, tarytum gyvsidabris būtų spaudžiamas. Palietus geležies stiebo aštriu galu gyvsidabrio paviršių sistemos talpumas padidės ir dalis + įlydžio nuo gyvsidabrio paviršiaus pereis į geležies stiebą. Tuojau gyvsidabrio paviršiaus įtempimas pakils ir gyvsidabrio lašas susitrauks. Bet tada bus pertrauktas kontaktas tarp geležies stiebo ir gyvsidabrio lašo ir gyvsidabris vėl iš naujo užsitaisys teigiamai. Taigi čia visą laiką gyvsidabris atiduoda savo teigiamą įlydį per geležies stiebą ir štatyvą žemei, jo paviršiaus įtempimas didėja, lašas susitraukia ir kontaktas tarp paviršiaus ir geležies stiebo panaikinamas. Todel gyvsidabrio paviršius vėl užsitaiso teigiamai, jo paviršiaus įtempimas silpnėja, lašas susiploja, vėl susidaro kontaktas tarp geležies stiebo ir gyvsidabrio ir t. t..



212 pieš.

Aprašyta čia pareina gyvsidabrio paviršiaus įtempimo nuo elektriško užtaisymo remiasi labai patogus aparatas mažiems potencialams matuoti, būtent, Paryžiaus fiziko Lippmano kapilarinis elektrometras. Šitą aparatą atvaizduoja 213 piešinys. Jis yra su darytas išdviejų stačių vamzdžių A ir B apie 5 mm. vidutinio diametro, sujugtų lygiagrečiai vienas antram. Vienas iš vamzdžių B baigiasi apačioje rutuliu, o antrasis siauru kapilariniu vamzdžiu C, užlenktu augštyn taip, kad jis galima būtų sunituoti su vamzdžiu B, kaip rodo piešinys. Taigi, abudu platesni vamzdžiai A ir B sujungti siauru kapilariniu vamzdžiu. Apačioj į rutulį įlydyta trumpa platinos viela, prie kurios išorinio galo prilydyta plona vario viela. Abidvi šitos vielos, kad būtų apgintos nuo sužeidimo, randasi stiklo vamzdelyje, prilydytam prie rutulio. Ant to vamzdelio galo randasi sraigtas

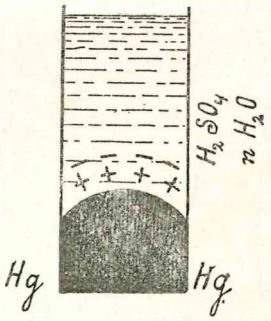
(bornas) sujungtas su vario viela. Kita trumpa platinos viela įlydyta iš šono apačioje vamzdžio A. Prie jos išorinio galo prilydyta plona vario viela, kuri, kad nesusižeistų, irgi randasi stiklo vamzdyje su bornu. Abidvi šitos vielos reikalingos tam, kad galima būtų prijungti elektrometras prie elemento polių arba, aplamai, prie dviejų taškų, tarp kurių matuojamas potencialų skirtumas.



213 pieš.

Rutulys ligi pusės pripildytas chemiškai tyro gyvsidabrio. Taip pat gyvsidabris įpiltas į vamzdį A ir tiek, kad kapilariniam vamzdy jis pakiltų ligi $^2/_3$ kapilarinio vamzdžio augščio. Be to, į abidvi elektrometro šakas, A ir B, įpiltas sieros rūgšties tirpalas maksimum laidumo (apie 30% sieros rūgšties ir apie 70% vandens), gerai išvirintas, kad jame nebūtų oro arba kitų kokių dujų. Paskui iš abiejų šakų, A ir B, evakuojamas oras ir bendras abiem šakom kaklas (žiūr. 213 pieš. iš viršaus) nutempiamas su pagalba lydymo lemputės. Reikalui esant galima sumažinti arba padidinti gyvsidabrio augštis kapilariniam vamzdy, perpiliant daugiau ar mažiau gyvsidabrio arba iš rutulio į šaką A arba iš šakos A į rutuliuką B, kas atsiekiama atatinkamai lenkiant aparatą ir varant gyvsidabrį per jungiančią abidvi šakas A ir B dalį. Taigi šitas instrumentas negali nė kiek nustoti savo medžiagos ir yra visiškai apgintas nuo užsikrėtimo nešvarumais iš oro. Todel jis charakterizuojasi ne tik patogumu, bet ir dideliu pastovumu.

214 piešinys atvaizduoja kapilaro dalį žymiai padidintam maštabe. Gyvsidabris tirpsta sieros rūgštyje kaipo merkūro sulfatas, kuris gangreit pilnai yra disociuotas į merkūro ionus $H \cdot g$ ir sulfionus SO''_4. Kadangi gyvsidabrio ionizacijos tensija yra labai maža sulyginus su merkūro ionų osmotiniu spaudimu, tad kontakte su sieros rūgštimi ant gyvsidabrio paviršiaus visuomet išsilydina nedidelis kiekis merkūro ionų ir užtaiso gyvsidabrio paviršių teigiamai. Tuo pačių laiku elektrolite susidaro anionų perteklius, taip kad elektrolito sluogsnis kontakte su gyvsidabriu užsitaiso neigiamai.



214 pieš.

Vienu žodžiu, čia tuojau susidaro žinomas jau mums dvigubas elektros sluogsnis. Del atsparos jėgų tarp tos pačios rūšies elektros,+elektros sluogsnis ant gyvsidabrio paviršiaus reiškia tam tikrą spaudimą į gyvsidabrio paviršių. Taigi, gyvsidabrio lašas, užtaisytas elektriškai, labiau suplotas kaip elektriškai neutralėje būklėje. Paviršiaus įtempimas T reiškiasi spaudimu $\frac{2T}{r}$ (žiūr. „Skysčiai ir Dujos", 10 §, 44, 45 puslap.), atkreiptu į gyvsidabrio vidurį. Čia r reiškia gyvsidabrio paviršiaus kreivumo stipina. Šitas spaudimas varo gyvsidabrį kapilarėje žemyn ir kompensuojasi gyvsidabrio stulpu šakoje A, skaitant nuo gyvsidabrio paviršiaus kapilarėje (žiūr. 213 pieš.). Taigi, padidėjus del kokių nors priežasčių gyvsidabrio paviršiaus įtempimui, padidės ir tas normalinis spaudimas $\frac{2T}{r}$ ir gyvsidabris kapilarėje slinks žemyn, o kompensacijos stulpas didės. Mažėjant gyvsidabrio paviršiaus įtempimui stulpas šakos A varys gyvsidabrį kapilarėje augštyn, kol to stulpo hidrostatinis spaudimas pasidarys lygus gyvsidabrio normaliam spaudimui kapilarėje.

Paimsime dabar varžos magaziną ligi 11000 ohmų ir uždarysime juo Danielio elementą, kurio elektrovaromoji jėga yra lygi 1,1 volto. Tad potencialo kritimas kiekvienam ohmui bus $^1/_{10000}$ dalis volto, 10 ohmų bus $^1/_{1000}$ dalis volto, 100 ohmų — $^1/_{100}$ dalis volto, 1000 ohmų — $^1/_{10}$ dalis volto ir t. t. Taigi imdami atšakas iš eilės nuo varžų 1, 2, 3 ir t. t. ohmų ir prijungdami prie elektrometro viela mes galime suteikti elektrometrui įvairius potencialų skirtumus, pradedant nuo $^1/_{10000}$ dalies volto ir ligi 1 volto. Tie potencialų skirtumai prijungiami visuomet taip, kad + galas būtų prijungtas prie gyvsidabrio rutuly (šaka B), o — galas prie gyvsidabrio kapilarėje (šaka A), vienu žodžiu, visuomet taip, kad gyvsidabris kapilarėje būtų katodu, o gyvsidabris rutuly būtų anodu. Taigi prijungus — polį prie gyvsidabrio kapilarėje, teigiamas gyvsidabrio įlydis bus sumažintas. Tuo pačių laiku įvyks, tiesa, labai silpna, elektrolizė sieros rūgšties ir tos elektrolizės išdava bus pakeitimas koncentracijos ionų elektrolito sluogsnyje kontakte su gyvsidabriu, būtent, kationai susitaupys didesniam kieky arti nuo gyvsidabrio paviršiaus. Šitie kationai sumažins veikimą — elektros sluogsnio elektrolite kontakte su gyvsidabriu (žiūr. 214 pieš.). Del viso to sumažės elektrinės atsparos jėgos ant gyvsidabrio ribos ir atatinkamai padidės gyvsidabrio paviršiaus įtempimas. Todel gyvsidabris kapilarėje slinks žemyn, kol paviršiaus įtempimas bus kompensuotas hidrostatiniu spaudimu gyvsidabrio stulpo šakoje A (žiūr. 213 pieš.). Didinant potencialų skirtumą tarp gyvsidabrio rutuly ir kapilarėje vis smarkiau ir smarkiau mažės + įlydis ant gyvsidabrio paviršiaus kapilarėje (žiūr. 214 pieš.) ir tuo pačiu laiku vis daugiau ir daugiau taupysis kationų arba, konkrečiai kalbant, vandenilio ionų arti nuo gyvsidabrio paviršiaus, o tas bus sieros rūgšties elektrolizės išdava. Kadangi šita išdava pareina nuo to, kad kinta ionų koncentracija arti nuo gyvsidabrio paviršiaus, tad ją galime laikyti polarizacija. Taigi, galima pasakyti, kad gyvsidabrio paviršiaus įlydis ir, vadinasi, paviršiaus įtempimas kis čia nuo polarizacijos. Augant potencialų skirtumui stiprės polarizacija ir didės gyvsidabrio paviršiaus įtempimas. Taigi, kurį laiką gyvsidabris kapilarėje slinks žemyn. Bet didindami potencialų skirtumą mes pasieksime tokią padėtį, kad potencialų skirtumas dvigubo elektros sluogsnio (žiūr. 214 pieš.) kaip tik bus kompensuotas išoriniu, pridėtu prie elektrometro, potencialų skirtumu. Tada gyvsidabrio paviršiaus įtempimas pasieks maksimumą ir gyvsidabris kapilarėje stovės žemiausiai. Bet, padidinus dar labiau pridėtą iš oro potencialų skirtumą, gyvsidabris kapilarėje bus užtaisytas jau neigiamai, ir juo smarkiau, juo didesnis bus potencialų skirtumas. Todel gyvsidabrio paviršiaus įtempimas ims vėl mažėti ir gyvsidabris kapilarėje ims kilti augštyn. Savaime suprantama, kad užsitaisius gyvsidabrio paviršiui neigiamai, sluogsnis sieros rūgšties kontakte su gyvsidabriu bus užtaisytas teigiamai. Šitie gyvsidabrio judėjimai kapilarėje sekami mikroskopu, kurio okularas aprūpintas vertikale škala, taip kad nuslinkimas gyvsidabrio paviršiaus kapilarėje žemyn arba pakilimas augštyn galima išreikšti skaičiais. Panašus matavimas rodo, kad potencialų skirtumas 0,95 volto, suteiktas kapilariniam elektrometrui, duoda visų žemiausią gyvsidabrio būklę kapilarėje. Vadinasi, potencialų skirtumas 0,95 volto kompensuoja potencialų skirtumą dvigubo elektrinio sluogsnio, kuris susidaro kontakte gyvsidabrio su sieros rūgšties tirpalu. Taigi, čia mes galime tiesioginiu būdu išmatuoti potencialų skirtumą metalo ir skysčio kontakto vietoje.

Pridėjus prie elektrometro potencialų skirtumą augščiau kaip 1 voltas, ant gyvsidabrio paviršiaus pasirodo vandenilio burbuliukai, santykiai darosi painesni, ir todel potencialų skirtumo matavimas šituo elektrometru augščiau kaip 1 voltas nebetikslus.

Norint naudotis šituo instrumentu kaipo voltmetru matuoti potencialų skirtumui ligi 1 volto, reikia jis graduoti, arba, kitaip sakant, reikia gauti kreiva, kuri duoda santykius tarp potencialų skirtumų ir gyvsidabrio augščių, kaip jau augščiau pasakyta, uždarius elementą žinomos elektrovamosios jėgos didele varža, imant nuo tos varžos vis didesnes ir didesnes atšakas, prijungiant jas prie elektrometro ir atskaitant mikroskopu gyvsidabrio būklę kapilarėje, tik neperžengiant 1 volto. Atidėdami ant abscisos voltus, o ordinatomis gyvsidabrio augščius kapilarėje, sujungę ordinatų galus, mes gausime parabolą, taip kad šitam elektrometre santykiai tarp voltažo ir paviršiaus įtempimo išreškiami parabolos lygtimi. Instrumentas patogus tuo, kad jis reikalauja labai

maža srovės, ir juo daug lengviau manipuliuoti, kaip su kvadrantų elektrometru. Ypatingai jis patogus kaipo nulinis instrumentas matuojant kompensacijos metodu elektrovaromąją jėgą.

Nereikia jungti + polio prie gyvsidabrio kapilarėje, nes tada ant gyvsidabrio paviršiaus išsilydo hidroksilo ionai OH', gyvsidabrio paviršius oksiduojasi, susidaro merkūro sulfatas, ir mes tada nebeturėsime tyro gyvsidabrio paviršiaus. Todel ir paviršiaus įtempimo reiškiniai jau nebebus tie, apie kuriuos čia buvo kalbama. Jeigu tas atsitiktų pripuolamai, reikia, atatinkamai palenkus elektrometrą, iš pradžios nuvaryti dalis gyvsidabrio iš rutulio į šaką A ir pakelti gyvsidabris kapilarėje tiek, kad vienas kitas lašelis gyvsidabrio iš kapilarės pereitų į šaką B ir nudribtų į rutulį. Paskui, nuvarant šiek tiek gyvsidabrio iš šakos A į šaką B, galima vėl pasiekti toki padėtis, kad gyvsidabris kapilarėje užimtų $^2/_3$ jos augščio. Tokiu būdu mes vėl turėsime tyrą gyvsidabrio paviršių kapilarėje. Kada instrumentas nevartojamas, reikia sujungti abudu elektrometro bornai viela, t. y. trumpai sujungti. Tada mes turėsime vadinamą nulinę padėtį gyvsidabrio kapilarėje, t. y. padėtį, kuri atatinka dvigubam elektriniam sluogsniui, kaip rodo 214 piešinys, ir nuo šitos padėties reikia visuomet pradėti matavimai. Ilgai dirbant su šituo instrumentu irgi reikia dažnai padaryti vadinamas trumpas sujungimas.

Kaip jau pasakyta, Lippmano kapilariniam elektrometre mes turime darbo su polarizacijos reiškiniais, kurie yra išdava ionų koncentracijos pasikeitimo kontakto vietoje metalo ir elektrolito. 11 § priežastį galvaninės polarizacijos mes nurodėme elektrodų sudėties pasikeitimą einant srovei per elektrolitus. Bet iš tikrųjų polarizaciją sudaro kaip elektrodo sudėties atmaina, taip ir ionų koncentracijos atmaina kontakte elektrodo su elektrolitu. Tiktai šita paskutinė priežastis turi nedidelės reikšmės, nes, kaip jau mes matėme, sumažėjus arba padidėjus ionų koncentracijai 10 sykiu elektrodo potencialas sumažės arba padidės tik per 0,058 volt vienvalentingiems metalams ir per 0,029 dvivalentingiems metalams. Taigi, visais atvejais svarbiausioji polarizacijos priežastis yra elektrodų sudėties atmaina, kuri reiškiasi tuo, kad susidaro elektrovaromoji jėga, atkreipta prieš tą elektrovaromąją jėgą, kuri sudaro elektrodų sudėties atmainą.

Šito paragrafo pradžioje pasakyta, kad srovė eina per elektrolitą pridėjus prie elektrodų nors ir mažiausią elektrovaromąją jėgą. Bet tas yra tiesa tik tada, kada elektrolite randasi apverčiami elektrodai. Pavyzdžiui, turint du vario elektrodus elektrolite iš vario sulfato ir, sujungus tuos elektrodus iš eilės su galvaniniu elementu ir su galvanometru, pastarasis parodys srovę prie bet kurio įtempimo tarp elektrodų. Šituo atveju einant srovei per elektrolitą viena kryptimi varis tirps (ionizuosis) ant anodo ir bus išmetamas ant katodo (vario ionai bus išlydomi). Pakeitus srovės kryptį katodas taps anodu, o anodas katodu, ir dabar varis tirps nuo to elektrodo, ant kurio pirmiau buvo išlydomi jo ionai, ir bus išmetamas ant to elektrodo, ant kurio pirmiau varis tirpo. Bet ir vienu ir antru atveju mes turėsime du vario elektrodus, įmerktus į vario sulfatą. Visa atmaina čia bus tik ta, kad koncentracija vario ionų kiek padidės anodo srityje ir sumažės katodo srityje. Taigi, čionai nuo pat pradžios srovė augs proporcingai pridėtai elektrovaromajai jėgai ir nuo pat pradžios Ohmo dėsnis bus išpildytas. Bet kitaip atrodo dalykai įmerkus, sakysime, į tą patį vario sulfatą du platinos elektrodus ir pridedant prie jų įvairias elektrovaromąsias jėgas pradedant nuo nulio. Čionai einant srovei per elektrolitą ant vieno platinos elektrodo bus išlydyti vario ionai (ant katodo) ir šita vario plokštelė apsitrauks sluogsniu vario, ant antrojo platinos elektrodo bus išlydyti SO''_4 ionai, kurie su vandeniu reaguos pagal lygtį $SO_4+H_2O=H_2SO_4+O$, taip kad ant antrojo platinos elektrodo pasirodys deguonis. Šitas deguonis dalinai bus platinos okliuduojamas, dalinai burbulais atsiskirs nuo elektrodo ir išeis laukan. Taigi, perėjus per tokią kombinaciją srovei, mes jau turėsime nebe du platinos elektrodus kontakte su vario sulfatu, bet iš vienos pusės platinos — deguonies elektrodą (taip sakant, deguonį ištirpintą platinoje), o iš antros pusės vario elektrodą. Einant Voltos dėsniais, lygiai kaip osmotine teorija, galvaninė kombinacija iš dviejų platinos elektrodų ir vario sulfato neduos jokios elektrovaromosios jėgos, tuo tarpu kombinacija

Pt. O	Cu SO_4	Cu
platina-deguonis	vario sulfatas	varis

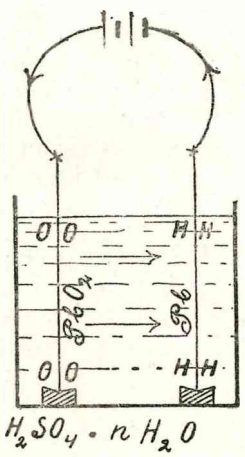
duos elektrovaromąją jėgą tam tikro didumo, kuri varys + srovę per elektrolitą nuo vario Cu į pusę Pt . O ir išorėj per vielą nuo Pt . O į varį. Vadinasi, čionai Pt elektrodas bus teigiamu, o vario elektrodas bus neigiamu. Tai mes galime suprasti tik tuo būdu, kad platinos deguonis ionizuosis sudarydamas sluogsnį OH' ionų ir atatinkamą sluoksnį + elektros ant platinos, o varis ionizuodamasis duos sluogsnį + ionų ant elektrolito ir atatinkamą — elektros sluogsnį ant vario. Taigi, sujungus abudu elektrodus viela, per tą vielą eis srovė nuo Pt . O į varį, o per elektrolitą nuo vario į Pt . O. Šita srovė tęsis tol, kol bus išeikvotas platinos deguonis ir vario sluogsnis ant platinos elektrodo, nes einant srovei deguonis oksiduos varį, vadinasi, ir varis ir deguonis bus eikvojami ir oksidaciijos reakcijos energija čia bus elektros energijos išteklius. Šita srovė tekės per vielą ir per elektrolitą priešingai tai srovei, kuri sudarė elektrodų atmainas, vadinasi, elektrovaromoji jėga, kurią duoda abudu elektrodai, pasikeitus jų sudėčiai, bus atkreipta prieš tą elektrovaromąją jėgą, kuri sudaro elektrodų atmainas. Pavadinsime šitą elektrovaromąją jėgą pirmine elektrovaromąja jėga ir pažymėsime ją raide E, o pirmąją elektrovaromąją jėgą pažymėsime raide e ir pavadinsime ją polarizacijos elektrovaromąja jėga arba antrine elektrovaromąja jėga. Pažymėsime dar išorinę ir išvidinę elemento varžą raide r. Tad, Ohmo dėsniu, mes turėsime:

$$i = \frac{E - e}{r}.$$

Iš šitos lygties aišku, kad per tokią kombinaciją (du platinos elektrodai tam pačiam elektrolite) neis srovė, kol E = e, žodžiu, kol pridėta prie elektrodų išorėj elektrovaromoji jėga bus lygi polarizacijos elektrovaromajai jėgai. Tiksliau kalbant, uždarant srovę galvanometras kruptelės, bet neatsilenks, nes tuojau nusistatys pusiausvyra tarp pridėtos elektrovaromosios jėgos ir polarizacijos elektrovaromosios jėgos del įvykusios nedidelės atmainos elektrodų sudėtyje. Bet didindami išorėj pridėtą elektrovaromąją jėgą mes galime pasiekti tokią būklę, kad a $E > e$, ir tada per elektrolitą eis tolydinė srovė. Tokią padėtį pasieksime tada, kada pridėta elektrovaromoji jėga pasidarys didesnė kaip išlydymo potencialų suma (arba ionizacijos potencialų) deguonio ir vario.

Tokį pat fenomeną mes turėsime įmerkę du platinos elektrodus į sieros rūgšties arba šarmo arba kokios nors druskos tirpalą. Leidžiant srovę per sieros rūgšties tirpalą taip, kaip rodo 133 piešinys iš kairės pusės (žiūr. 11 §), eis elektrolizė ir kaipo elektrolizės vaisius ant vieno elektrodo darysis deguonis, o ant antro vandenilis, kurie bus okliuduojami platinos, taip kad ėjus srovei kurį laiką elektrodu sudėtis pakitės. Vietoj dviejų platinos elektrodų, įmerktų į sieros rūgšties tirpalą, mes turėsime kombinaciją $Pt.O\,(H_2\,SO_4)\,H.Pt$, tai yra turėsime iš vienos pusės platinos - deguonio elektrodą, o iš antros — platinos - vandenilio elektrodą; tie du elektrodai skirsis taip pat vienas nuo antro, kaip skiriasi vienas nuo antro du metalai. Taigi, šita pastaroji kombinacija duos tam tikrą elektrovaromąją jėgą, einant Voltos dėsniais ir osmotine galvaninio elemento teorija; tuo tarpu kombinacijos $Pt\,(H_2\,SO_4)\,Pt$ elektrovaromoji jėga bus lygi nuliui. Vadinasi, leisdami srovę per du platinos elektrodus ir sieros rūgštį, mes polarizuosime elektrodus, nes keisime jų sudėtį, ir turėsime darbo su polarizacijos elektrovaromąja jėga, atkreipta prieš elektrolizuojančią elektrovaromąją jėgą. Taigi, ir čia einant dėsniu $i = \frac{E - e}{r}$ srovė bus lygi nuliui, kol pridėta išorėj elektrovaromoji jėga E pasidarys kiek didesnė kaip polarizacijos elektrovaromoji jėga e, arba kol E pasidarys truputį didesnis kaip suma išlydymo potencialų deguonio ir vandenilio. Ir tiktai tada, kada tai įvyks, ant elektrodų pasirodys burbulai iš vienos pusės deguonio, o iš antros pusės vandenilio. Išjungus pridėtą elektrovaromąją jėgą ir sujungus abudu elektrodus viela, per tą vielą ir per elektrolitą eis srovė kryptimi, kaip rodo 133 piešinys iš dešinės pusės, t. y. priešinga kryptimi kaip buvo veikiant elektrovaromajai jėgai E. Dabar (žiūr. 133 pieš. iš dešinės pusės) deguonis ionizuosis ant vieno elektrodo, sudarydamas — elektros sluogsnį ant elektrolito ir + elektros sluogsnį ant platinos, o vandenilis ionizuosis ant antrojo elektrodo, sudarydamas + elektros sluogsnį ant elektrolito ir — elektros sluogsnį ant platinos. Deguonio ir vandenilio potencialus mes galime išreikšti su pagalba Nernsto formulos, ir elektrovaromąją

jėgą šitos kombinacijos, kaipo skirtumą potencialų deguonio ir vandenilio. Deguonis gali būti (ir būna) elektrolite pavidalo O'' ionų ir dažnai OH' ionų. Ionų O'' išlydymo potencialas yra — 1,49, o ionų OH' išlydymo potencialas yra lygus — 1,94. Augščiau duotoje metalų potencialų būklėje vandenilio ionų išlydymo potencialas parodytas kaipo — 0,27. Taigi, kada išlydoma deguonio ionai ir vandenilio ionai, tai polarizacijos elektrovaromoji jėga bus — 0,27 — (— 1,49) = 1,22 voltų, o kada išlydomi hidroksilo ionai, tai polarizacijos elektrovaromoji jėga bus — 0,27 — (— 1,94) = 1,67. Čia imamas ionizacijos potencialų arba išlydymo potencialų skirtumas todel, kad tie potencialai atkreipti vienas prieš antrą. Iš tikrųjų, leidžiant srovę per sieros rūgšties tirpalą ir pasiekus elektrovaromajai jėgai 1,22 voltų, ant katodo pasirodo pirmieji vandenilio pėdsakai. Pasiekus elektrovaromajai jėgai 1,67 voltų ant vieno elektrodo pasirodo vandenilis, ant antro pasirodo deguonis. Varant sieros rūgšties tirpalo elektrolizę, kaip jau mes matėme, faktiškai vyksta reakcija $H_2O = H_2 + O$, t. y. faktiškai vanduo skaldomas į jo elementus. Bet tuo pačiu laiku energija vandenilio ir deguonio yra didesnė kaip vandens energija ir, vadinasi, mes taupome ant elektrodų cheminę energiją pavidalu deguonio ir vandenilio, ir tokiu būdu sutaupytos energijos kiekis bus proporcingas perėjusios per elektrolitą elektros kiekiui, o tasai elektros kiekis bus proporcingas medžiagos kiekiui pavidalu vandenilio ir deguonio, išmestų ant elektrodų. Todel sistema iš dviejų platinos elektrodų, įmerktų į sieros rūgšties tirpalą, galima pavadinti energijos taupytoju, arba akumulatorium, nes, praleidę per šitą sistemą tam tikrą elektros kiekį, mes sutaupysime elektros energiją pavidalu vandenilio ir deguonio. Iš tikrųjų, sujungę platinos — deguonio ir platinos — vandenilio elektrodus, įmerktus į sieros rūgšti, viela, mes gausime elektros srovę kaipo cheminės reakcijos $H_2 + O = H_2O$ arba $H' + HO' = H_2O$ vaisių. Ir vienu ir antru atveju reakcija turi tam tikrą šilimos efektą ir su pagalba Helmholtz'o formulos mes iš šilimos efekto galėsime apskaityti elektrovaromąją jėgą, jeigu nustatysime tos elektrovaromosios jėgos temperatūrinį koeficientą. Iš šilimos efekto reakcijos $H' + HO' = H_2O$ mes kaip tik gausime elektrovaromąją jėgą 1,67 voltų.



215 pieš.

Leidžiant per kombinaciją: du platinos elektrodai — sieros rūgštis, per kurį laiką elektros srovę, tiktai dalis atskirtų deguonio ir vandenilio bus okliuduota platinos, o didžioji dalis pavidalu burbulų išeis iš elektrolito laukan. Todel sujungę po elektrolizės platinos elektrodus, mes gausime elektros srovę, kuri, aplamai, tęsis trumpą laiką. Polarizacijos elektrovaromoji jėga labai greitai nukris, sakysime, nuo 1,67 voltų ligi 0. Galima užvožti abudu platinos elektrodus vožtuvais, įmerkus juos į elektrolitą (sieros rūgštį), taip kad didžioji dalis jų būtų viršuj elektrolito. Atliekant sieros rūgšties elektrolizę tokiam aparate mes galime vandenilį ir deguonį suvaryti po gaubtuvais, kuriais uždengti platinos elektrodai. Sujungę dabar tuos platinos elektrodus viela, mes turėsime elektros srovę gan ilgą laiką, kol vandenilis ir deguonis bus išeikvoti reakcija $H_2 + O = H_2O$. Ypatingai toksai akumulatorius veiks gerai, jeigu platinos elektrodai bus platinuoti, kaip šitame paragrafe parodyta augščiau. Tada mes turėsime vadinamą dujų akumulatorių. Bet toksai akumulatorius nepraktiškas, nes platina yra brangiausias metalas. Tiesa, platina čionai nesieikvoja, bet visgi sudaryti tokiems elementams reikia didelių išlaidų. Tokie elementai vadinami antriniais elementais, nes jų veikimas remiasi elektrodų polarizacija.

Praktikoje įsivyravo ir turi didelės reikšmės šių dienų elektrotechnikoje švino akumulatorius. Paimsime stiklo indą su sieros rūgšties tirpalu lyginamojo svorio 1,14 (20% sieros rūgšties), įmerksime į elektrolitą dvi švino plokštes ir pridėsime prie jų galvaninę batareją (žiūr. 215 pieš.). Einant srovei vandenilio ionai H' slinks per elektrolitą nuo anodo į katodą ir ant katodo bus išlydomi, taip kad ant katodo van-

denilis pavidalu burbulų eis iš elektrolito laukan. Anionai SO''_4 slinks priešinga kryptimi ir bus išlydomi ant anodo. Radikalas SO_4, atsiskyręs nuo elektros įlydžio, reaguos su vandeniu ir duos deguonį ($SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$), kuris oksiduos šviną, iš pradžios ligi švino oksido $Pb + O = PbO$, o paskui ligi švino peroksido $PbO + O = PbO_2$. Iš tikrųjų, praleidę kurį laiką srovę per tokią kombinaciją, kaip rodo 215 piešinys, mes turėsime tokius vaisius: dalis vandens bus suskaldyta, sieros rūgšties koncentracija pakils, ir vietoj dviejų švino elektrodų bus iš vienos pusės švino peroksido elektrodas, juodbėrės spalvos, o iš antros pusės švino elektrodas pilkos spalvos. Atjungę galvaninę bateriją B ir sujungę abudu elektrodus viela, mes kurį laiką turėsime srovę, kuri eis per vielą nuo švino peroksido elektrodo į švino elektrodą, o per elektrolitą nuo švino elektrodo į peroksido elektrodą. Vadinasi, elektrizuojant sieros rūgštį tarp dviejų švino elektrodų mes polarizuosime vieną iš tų elektrodų ir todel sutaupysime tam tikrą kiekį energijos pavidalu tam tikro kiekio PbO_2. Polarizacijos elektrovaromoji jėga čia bus apie 2 voltus ir pasiliks tokio didumo einant srovei, kol bus išeikvotas PbO_2. Paskui ta elektrovaromoji jėga greitai nukris ligi nulio. Pasibaigus šitai polarizacijos srovei, kuri eis priešingai pirminei arba elektrizuojamai srovei, mes konstatuosime tokias atmainas svarstomoje kombinacijoje. Abudu elektrodai bus aptraukti sluogsniu švino sulfato $PbSO_4$, padidės vandens kiekis elektrolite ir atatinkamai sumažės sieros rūgšties, taip kad čia įvyks šitokia reakcija:

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 = 2PbSO_4 + 2H_2O.$$

Šitos reakcijos šilimos efektas bus čia ir elektros energijos šaltinis.

Galima sutikti, kad kontakte švino peroksido su sieros rūgštimi susidaro sluogsnis anionų PbO''_2, taip kad patsai švino peroksido elektrodas užsitaiso teigiamai, o kontakte švino su sieros rūgštimi susidaro sluogsnis švino kationų $Pb^{\bullet\bullet}$, o švino elektrodas užsitaiso neigiamai. Švino peroksido anionai ir švino kationai neutralizuoja vienas antrą ir duoda švino oksidą einant lygtimi $PbO''_2 + Pb^{\bullet\bullet} = 2PbO$. O jau švino oksidas reaguoja su sieros rūgštimi sutinkamai su lygčia: $2PbO + 2HSO_4 = 2PbSO_4 + 2H_2O$. Taigi sutraukdami abidvi pastarąsias lygtis mes gausime augščiau minėtą lygtį. Kad šita reakcija sudaro pagrindą elektromotoriškam procesui, aišku iš to, kad išmatuota akumulatoriaus elektrovaromoji jėga nesiskiria nuo apskaitytos iš augščiau duotos reakcijos šilimos efekto. Tai įrodė Dolezalekas, kuris iš pamatų ištyrė akumulatoriaus procesą ir parodė, kaip akumulatoriaus elektrovaromoji jėga pareina nuo sieros rūgšties koncentracijos. Jeigu mes turime sieros rūgštį lyginamojo svorio 1,14 (20% sieros rūgšties ir 80% vandens), tai augščiau duotos cheminės reakcijos šilimos efektas yra lygus 87000 kalorijų, skaitant ant grammolekulos švino peroksido. Žinant, kad akumulatoriaus elektrovaromoji jėga nesikeičia su temperatūra, ir pažymėjus akumulatoriaus elektrovaromąją jėgą raide E, bus gauta $EnF = 4{,}2Q$. Čia n yra švino peroksido valentingumas, F gramekvivalento kulonų skaičius, Q reakcijos šilimos efektas ir 4,2 skaičius joulių arba wattų, kuris atatinka vieną mažąją kaloriją (kad energija iš vienos ir iš antros pusės būtų išreikšta tais pačiais vienetais, čionai elektriškais vienetais). Iš šitos, lygties bus: $E = \frac{4{,}2.Q}{nF} = \frac{4{,}2.87000}{2.96540} = 1{,}89$ voltų. Tiesioginiai matavimai Dolezaleko akumulatoriaus elektrovaromosios jėgos prie nurodytos sieros rūgšties koncentracijos davė skaičių 1,90 voltų, kuris skaičius mažai skiriasi nuo apskaityto dydžio. Tuo įrodyta ir tai, kad akumulatoriaus elektrovaromoji jėga labai mažai kinta kintant temperatūrai. Be to, Dolezalekas įrodė, kad imant sieros rūgštį sitpresnės koncentracijos akumulatoriaus elektrovaromoji jėga bus didesnė. Pavyzdžiui, turint rūgštį lyginamojo svorio 1,2 (apie 28% sieros rūgšties, kaip tai paprastai ir imama akumulatoriams) akumulatoriaus elektrovaromoji jėga bus 2 voltai.

Kaip jau paminėta, praleidus kurį laiką srovę per sieros rūgštį tarp dviejų švino plokštelių, viena iš tų plokštelių apsitrauks plonu švino peroksido sluogsniu ir sieros rūgšties koncentracija padidės. Tokiu būdu mes sutaupysime tam tikrą kiekį elektros energijos pavidalu cheminės energijos, kuris kiekis bus proporcingas švino peroksido

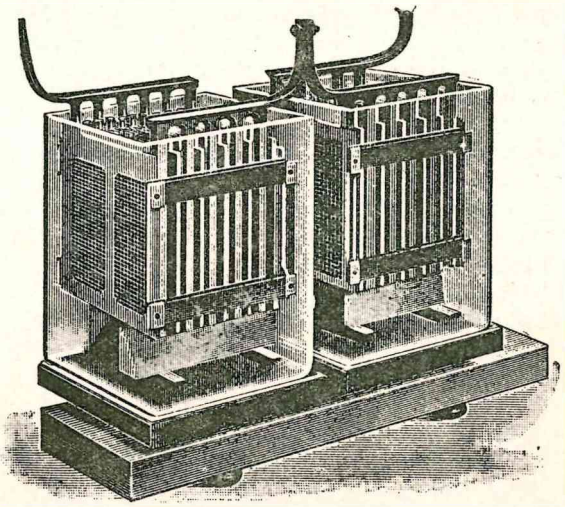
kiekiui (arba, aplamai, kiekiui transformuotos medžiagos). Mes tada turėsime užtaisytą akumulatorių. Taigi, leisdami srovę per sieros rūgšti tarp švino plokščių mes užtaisome akumulatorių. Atskyrę batareją, su kurios pagalba akumulatorius buvo užtaisomas, ir sujungę abudu elektrodus viela, mes gausime srovę per kurį laiką (sulyginant trumpą laiką) prie nuolatinio akumulatoriaus įtempimo 2 voltai, vykstant minėtai reakcijai. Akumulatorius duos srovę, kol bus išeikvotas visas švino peroksido sluogsnis. Mes tokiu būdu išlydysime akumulatorių, ir jį išlydę, kaip jau pasakyta, turėsime silpnesnę sieros rūgštį, ir abidvi švino plokštys bus aptrauktos švino sulfato sluogsniu. Jeigu dabar vėl paimsime galvaninę batareją ir iš jos leisime srovę per tokį išlydytą akumulatorių taip, kaip rodo 215 piešinys, tai ant anodo bus išlydomi deguonio ir hidroksilo ionai, kurie su švino sulfatu duos švino peroksidą PbO_2 ir sieros rūgštį (vienu žodžiu, švino sulfatas vėl bus oksiduotas ligi švino peroksido), o ant katodo bus išlydomi vandenilio kationai, kurie atstatys šviną ir duos sieros rūgštį. Sutraukdami katodinę ir anodinę reakcijas, mes gausime šią reakciją: $2PbSO_4 + 2H_2O = PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4$. Akumulatorius vėl bus užtaisytas, jame vėl bus sutaupyta elektros energija pavidalu cheminės energijos ir vėl galima bus gauti iš jo srovė. Bet užtaisant akumulatorių antrą sykį, chemiškas procesas padarys didesnę švino plokščių koroziją, švino peroksidas ant vienos plokštės sudarys gilesnį sluogsnį, taip pat švinas ant antros plokštės. Vadinasi, mes turėsime didesnį kiekį transformuotos medžiagos, ir galėsime ilgesnį laiką gauti srovę. Atkartojus keletą sykių aprašytą čia akumulatoriaus užtaisymą ir išlydymą, galima bus pagaminti gan stori sluogsniai aktingos medžiagos ant švino plokščių: ant vienos plokštės švino peroksido pavidalu smulkiai padalytos medžiagos, o ant antros plokštės metalinio švino irgi smulkiai padalyto. Smulkus medžiagos padalijimas reiškia kontakto paviršiaus padidinimą ir chemiško proceso intensingumo padidinimą. Toksai kartotinis akumuliatoraus užtaisymas ir išlydymas vadinasi akumulatoriaus formavimas (tiksliau sakant, akumulatoriaus elektrodų formavimas). Šitas akumulatorių gaminimo būdas priklauso jų išradėjui prancūzui Planté (1859 metais). Silpna pusė Planté metodo yra ta, kad kaip švino peroksidas, taip ir kempinės pavidalo švinas blogai laikosi ant švino plokščių, ypač susidarius storesniam sluogsniui švino peroksido, pastarasis bira ant dugno, o tai reiškia nuostolį medžiagos ir kartu nuostolį elektros energijos. Toksai masės birimas pareina dar ir nuo to, kad užtaisant akumulatorių ir pereinant nuo švino sulfato į švino peroksidą tūris didėja, o pereinant į šviną tūris mažėja, o išlydant akumulatorių priešingai. Taigi, šitas tūrio kitimas, tai viena tai kita prasme, duoda medžiagos išsigaubimą ir plyšių, ir medžiaga ne tik byra, bet krinta nuo švino plokščių didesniais gabaliukais. Į šituos defektus buvo atkreipta reikiamo dėmesio įvairių technikų, bet ypatingai praktiškas akumulatorius pasisekė pagaminti belgui inžinieriui Tudorui. Tudoro akumulatoriai šiandien pripažinti geriausiais. Einant Tudoro patentu teigiamiems elektrodams (peroksido elektrodams) imamos storos švino plokštys ir iš abiejų pusių išraižomos arba išariamos daugybe smulkių vagelių, kurios taisyklingomis eilėmis tęsiasi per visą plokštės paviršių. Tokiu būdu smarkiai bus padidintas aktingas elektrodų paviršius ir sudarytos sąlygos pagaminti švino peroksido storam ir pastoviam sluogsniui iš abiejų plokštės pusių. Tam tikslui iš misingio gaminamos atatinkamos formos ir į tas formas atliejama švinas. Sukietėjus švinui ir pakankamai atvėsus formai, iš formų išimama smarkiai išraižytos iš abiejų pusių švino plokštys.

Neigiamos plokštys, pagal Tudorą, gaminamos šiuo būdu. Atliejama iš švino gardelis arba tinklas ir į tokio gardelio tarpus arba akis presuojama pasta, pagaminta iš švino oksido PbO, švino sulfato $PbSO_4$ ir sieros rūgšties, prisilaikant tam tikro recepto. Dabar reikia pagamintas taip teigiamas ir neigiamas plokštis formuoti sekant Plante. Imamas didokas medinis lovis (keturkampis), išklotas iš vidaus švinu, ir į šitą lovį kabinamos iš eilės neigiamos ir teigiamos plokštys ant stiklo (izolacijos) stiebų, taip kad + plokštys visuomet būtų tarp dviejų — plokščių. Visos neigiamos plokštys sujungiamos švino sija tarp savęs, taip pat ir visos teigiamos plokštys, taip kad tos sijos butų + ir — poliais. Į lovį piliama sieros rūgštis lyginamojo svorio 1,18 ir nuo dinamo mašinos leidžiama srovė, prijungus + polį dinamo mašinos prie sijų, jungiančių + elektrodus, o — polį prie sijų, jungiančių — elektrodus. Elektrolizės išdava

ant + plokščių susidarys sluogsnis švino peroksido, o minėta pasta bus redukuota ant neigiamos plokštės vandeniliu ligi švino. Paskui išlydoma ir vėl leidžiama srovė, ir šitas procesas atkartojamas keletą sykių. Tada mes turėsime aktingą sluogsnį švino peroksido ant vienų plokščių ir taip pat storą aktingą švino sluogsnį kitose plokštyse. Plokštys išimamos, išplaunamos gerai vandeniu ir išdžiovinamos. Tada jos gatavos persiuntimui. Iš tokių formuotų elektrodų akumulatoriai sustatomi ant vietos. 216 piešinys rodo schemą vieno akumulatoriaus, kuris susideda iš trijų teigiamų elektrodų (juodų, PbO_2) ir iš keturių neigiamų elektrodų (pilkų, Pb). Visuomet kiekvienam akumulatoriuje neigiamų elektrodų vienu daugiau kaip teigiamų elektrodų. Kraštutiniai neigiamieji elektrodai turi aktingą masę tik iš vienos pusės, būtent, iš pusės, atkreiptos į + elektrodą. Visi teigiamieji elektrodai sujungti tarp savęs švino sija, taip pat ir visi neigiamieji elektrodai. Aišku, kad tokiu sujungimu mes atatinkamai didiname akumulatoriaus elektrodų paviršių, nes mes čia turime lygiagretį sujungimą. Tai yra tas pats, kaip paimti vienas elektrodas trigubai didesnio ploto. Abidvi švino sijos yra aprūpintos švino ausimis, su kurių pagalba galima sujungti daug akumulatorių iš eilės arba lygiagrečiai. Akumulatoriams vartojami arba stiklo indai arba didesniems akumulatoriams medžio indai, iškloti viduje švino skarda. Išvengti trumpam sujungimui tarp + ir — plokščių del minėto išsigaubimo medžiagos sąryšy su tūrio kitimais, tarp plokščių įstatomi stiklo vamzdžiai. Trumpu sujungimu, arba „kurcšlusu“, mes vadiname sujungimą dviejų priešingų elektrodų arba, aplamai, dviejų polių viela mažos varžos arba, sakysime, sujungimą tiltų iš metalinio švino arba švino peroksido dviejų priešingų akumulatoriaus plokščių. Tada, einant Ohmo dėsniu $i = \frac{e}{r}$, del labai mažos varžos, susidaro labai stipri srovė, kuri gali pakenkti ir net panaikinti akumulatorių. Taigi tokių trumpų sujungimų reikia vengti ir visuomet dirbti tokiomis sąlygomis, kad jie nesusidarytų savaime.

216 pieš.

217 piešinys atvaizduoja du jau surinktus akumulatorius. Akumulatoriai yra sunkūs dalykai ir todel jie statomi ant vadinamų stelažų. Tai yra storos lentos arba storos sijos, izoliuotos nuo grindų, kaip rodo piešinys, porcelano arba kaučiuko priegalviais (padušk omis). Kiekvienas akumulatorius čia susideda iš penkių teigiamų plokščių, sujungtų tarp savęs švino sija, ir iš šešių neigiamų plokščių, sujungtų tarp savęs irgi švino sija. Piešinys rodo čia du tokius akumulatorius, sujungtus iš eilės. Taip pat rodo ir patį sujungimo būdą. Tokiu būdu galime sudaryti batarejas iš 60, iš 120, iš 240 ir t. t. akumulatorių. Kai kada vartojamas ir mišras sujungimo būdas: sudaromos grupės iš keleto akumulatorių, sujungtų lygiagrečiai, ir tos grupės sujungiamos tarp savęs iš eilės (apie elementų sujungimą į batarejas žiūrėk 13 § galą).



217 pieš.

Surinkta ant vietos akumuliatorių batareja reikia tuojau užtaisyti, prijungus dinamo mašinos + polį prie laisvos teigiamos sijos ir — polį prie laisvos neigiamos sijos. Užtaisant, elektrovaromoji jėga laikosi iš pradžios kiek aukščiau 2 voltų. Baigiantis užtaisymui ant anodo nebe visas deguonis eikvojamas, o ant katodo nebe visas vandenilis, ir todel ima veržtis iš akumulatoriaus deguonis ir vanduilis burbulais. Akumulatorius pradeda virti, ir prie akumulatoriaus elektrovaromosios jėgos prisideda dar

priedinis įtempimas del dujinės polarizacijos, taip kad, pagaliau, įtempimas pasiekia 2, 3 ir net 2,4 voltų. Tada užtaisymas akumulatorių baigtas. Šitą užtaisymo galą galime konstatuoti kišeniniu voltmetru, dažnai prijungdami jo polius prie akumulatoriaus polių ir, būdami įsitikinę, kad įtempimas nebekinta. Bet gali atsitikti ir taip, kad akumulatorius rodys pakankamą įtempimą, o vienok nebus užtaisytas, kitaip sakant, ne visa jo elektrodų masė bus perdirbta, o tiktai plonas sluogsnis. Todel tinkamiausias būdas kontroliuoti akumulatoriui, kontroliuojant aerometru sieros rūgšties tankumą. Normaliam užtaisytam akumulatoriuje sieros rūgšties tankumas turi būti 1,2, o išlydytam akumulatoriuje ne žemiau kaip 1,18 (arba 1,18 — 1,16).

Del deguonio ir vandenilio išsiveržimo, baigiantis akumulatoriaus užtaisymui, reikia aprūpinti akumulatorių kambarį gera ventilacija, nes vandenilio ir deguonio mišinys toje proporcijoje, kaip tas mišinys susidaro sieros rūgšties elektrolize, yra pavojinga sprogstamoji medžiaga ir labai lengvai gali būti didelės nelaimės priežastimi.

Sustačius akumulatorių batareją vietoje, pirmutinis jos užtaisymas tęsiasi ne mažiau kaip 30 valandų, o kiti eiliniai užtaisymai tik keletą valandų.

Išlydant šviežiai užtaisytą akumulatorių, iš pradžios jo voltažas yra aukštesnis kaip 2 voltai (2,2 — 2,1 voltų), kol okliuduoti elektrodu vandenilis ir deguonis bus išeikvoti. Bet tasai voltažas greitai pasiekia 2 voltus ir pasilieka šito didumo ligi išlydžio galo, kada jau gangreit visa aktinga masė, t. y. PbO_2 iš vienos pusės ir Pb iš antros pusės išeikvota. Tada akumulatoriaus voltažas ima smarkiai kristi žemyn. Išlydymas akumulatoriaus ligi žemo voltažo kenkia akumulatoriui, ir todel paprastai jis išlydomas ligi voltažo 1,83 voltų ir kai kuriais išimtinais atvejais ligi 1,75 voltų, bet niekuomet žemiau.

Išlydytas akumulatorius reikia tuojau vėl užtaisyti, nes, paliekant jį ilgesnį laiką išlydytoje būklėje, švino sulfatas ant elektrodų persikristalizuoja ir pereina iš elektrolitinės aktingos būklės į pasyvę būklę. Tokio pasyvaus švino sulfato nebegalima jau elektrolizės keliu iš vienos pusės oksiduoti ligi PbO_2, o iš antros pusės atstatyti ligi Pb. Aplamai, ar akumulatorius vartojamas ar ne, jis reikia užtaisyti bent sykį per mėnesį, nes užtaisytas nevartojamas akumulatorius savaime (spontaniškai) pamaži išsilydo. Išsilydymo priežastis yra ta, kad ant anodo visą laiką susidaro anionai PbO''_2, kurie difuzijos keliu pasiekia katodo sritį ir ten neutralizuojasi kationais $Pb^{\cdot\cdot}$, taip kad vyksta reakcija $PbO''_2 + Pb^{\cdot\cdot} = 2PbO$, o jau švino oksidas reaguoja su sieros rūgštimi ir duoda švino sulfatą. Tai yra Liebenowo teorija. Bet yra ir kita teorija akumulatoriaus ioniško proceso, būtent Le-Blanco, kuris tvirtina, kad akumulatoriaus išlydis yra toks, kad anodo srityje vyksta šios reakcijos: 1) $PbO_2 + 2H_2O = Pb(OH)_4$ ir 2) $Pb(OH)_4 = Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot} + 4OH'$. Taigi, einant Le-Blancu, anodo srityje susidaro keturvalentingi švino ionai, kurie difuzijos keliu pasiekia katodo sritį ir ten reaguoja su švinu taip: $Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot} + Pb = 2Pb^{\cdot\cdot}$. Vadinasi, Le-Blanco nuomone, akumulatoriaus išlydis yra ne kas kita, kaip redukcija (atstatymas) dvivalentingo švino iš keturvalentingo švino. Abidvi teorijos duoda tas pačias išvadas ir del akumulatoriaus užtaisymo ir išlydžio, ir reikia manyti, kad tikrenybėje įvyksta ir Liebenowo ir Le-Blanco procesai.

Ilgainiui dirbant akumulatoriui elektrolite susitaupo vis daugiau ir daugiau švino sulfato $PbSO_4$ ir švino persulfato $Pb(SO_4)_2$, atatinkamai mažėjant sieros rūgšties kiekiui. Taigi, ilgai vartotų akumulatorių sieros rūgšties koncentracija yra per silpna ir reikia atnaujinti akumulatoriaus elektrolitas. Vadinasi, reikia sekti areometru sieros rūgšties tankumas ir, kada tas tankumas pasidarys žemesnis kaip 1,18, reikia iš akumulatoriaus išpilti senas elektrolitas ir pripildyti jis naujo elektrolito, t. y. sieros rūgšties tirpalo, tankumo 1,2. Sieros rūgštis reikia imti chemiškai tyra ir tirpalui vartoti tik destiliuotas vanduo, nes visokie nešvarumai, ypač geležis ir chloridai, labai kenkia akumuliatoriui, jie smarkiai padeda akumulatoriaus išlydžiui savaime. Atnaujinus elektrolitą, tuojau reikia akumulatorius užtaisyti.

Dažnai, ypač vasaros metu arba stovint akumulatoriui šiltoje vietoje, daug vandens gali išgaruoti iš sieros rūgšties ir sieros rūgštis gali pasidaryti per stipri. Tai irgi kenkia akumulatoriui, nes stipri sieros rūgštis per daug tirpina elektrodų medžiagą. Jeigu areometras parodys perdidelį sieros rūgšties tankumą, reikia papildyti akumulatoriaus

skystimą destiliuotu vandeniu. Aplamai, visuomet reikia turėti akumulatoriuje tiek skystimo, kad jis būtų bent 1 cm. augščiau, kaip elektrodų viršutiniai krantai. Pripildžius destiliuoto vandens, tuojau reikia akumulatorius užtaisyti, kad vandenilio ir deguonio burbulai, kurie veržiasi iš elektrolito užtaisant akumulatorių, gerai sumaišytų elektrolitą.

Kiekvienas akumulatorius turi tam tikrą maksimum srovę, kurios negalima peržengti užtaisant arba išlydant akumulatorių. Perkant akumulatorių visuomet reikia reikalauti iš firmos, kad šita srovė būtų nurodyta. Žemesnės srovės galima drąsiai vartoti tiek užtaisant, tiek ir išlydant akumulatorių.

Akumulatoriaus talpumas vadinasi ampervalandų skaičius, kurį akumulatorius gali duoti išlydant jį ligi voltažo 1,83. Tasai talpumas būna didesnis išlydant akumulatorių silpnesne srove. Pavyzdžiui, išlydant akumulatorių 6 amperais, jo voltažas laikysis 2 voltų per 3 valandas. Taigi, jo talpumas bus 18 ampervalandų. Išlydant tą patį akumulatorių 4 amperų srove, talpumas bus 20 ampervalandų, vadinasi, galima bus turėti srovę 4 amperai per 5 valandas ir išlydant tą patį akumuliatorių srove 2,4 amperai, jo talpumas bus 24 ampervalandos, vadinasi, iš jo galima bus gauti srovė 2,4 amperai per 10 valandų.

Šitas akumulatorius susideda iš vienos teigiamos plokštės ir iš dviejų neigiamų pusplokščių 20 cm. platumo ir 27 cm. augščio. Maksimalė užtaisymo ir išlydžio srovė tokiam akumulatoriui bus 6 amperai. Paėmę akumulatorių iš dviejų tokių teigiamų plokščių, iš vienos neigiamos ir iš dviejų neigiamų pusplokščių, mes padidinsime dusyk elektrodų paviršių, ir tada maksimalė srovė tokiam akumulatoriui bus 12 amperų. Paėmus akumulatorių iš trijų tokių teigiamų plokščių, maksimalė srovė jau bus 18 amperų ir t. t. Mes čia atsiekiame elektrodų paviršiaus padidinimą, jungdami lygiagrečiai 2, 3 ir t. t. elektrodus. Aišku, kad tą patį rezultatą galime atsiekti, paėmę vietoj dviejų plokščių 20×27 cm. vieną plokštį dusyk didesnio ploto, arba vietoj trijų tokių plokščių vieną plokštį 3 syk didesnio ploto ir t. t. Praktikoje silpnesnėms srovėms imamos mažos plokštys ir jungiamos lygiagrečiai po 2, 3, 4 ir t. t. norint gauti didesnį talpumą Stiprioms srovėms imama visuomet plokštys didesnio ploto ir taip pat viena, dvi, trys plokštys jungiamos lygiagrečiai.

Akumulatoriaus efektingumu arba naudingumo koeficientu yra vadinamas santykis gautų ampervalandų išlydant akumulatorių ir išeikvotų ampervalandų užtaisant akumulatorių. Pavyzdžiui, išlydydami akumulatorių 6 amperais per 3 valandas mes gausime 18 ampervalandų. Čionai iš pradžios voltažas akumulatoriaus bus 2 voltai ir laikysis šito didumo gangreit visą išlydžio laiką, ir tiktai baigiantis išlydžiui ims kristi. Nukritus voltažui ligi 1,83, išlydis bus sustabdytas. Bet užtaisant akumulatorių mums reikės pasiekti augštesnį voltažą kaip 2 voltai, būtent 2,3 — 2,4 voltų, nes mums reiks leisti srovė kol akumulatorius ims smarkiai virti. Vadinasi, užtaisymas akumulatoriaus užsitęs daugiau kaip 3 valandas, paprastai 3,5 valandos užtaisant maksimale srove. Taigi užtaisydami mes išeikvosime 6×3,5=21 ampervalandų. Todel akumulatoriaus naudingumo koeficientas bus $\frac{18}{21} \cdot 100 = 85 - 86\%$. Čia mes turime galvoj naudingumo koeficientą ampervalandų atžvilgiu. Bet atžvilgiu energijos, kitaip sakant, gautų ir išeikvotų wattų, tasai naudingumo koeficientas bus žemesnis. Užtaisant akumulatorių jo voltažas pakils nuo 1,83 ligi 2,4 ir didžiąją dalį užtaisymo laiko laikysis augščiau kaip 2 voltai. Taigi, vidutiniškai užtaisydami mes turėsime voltažą apie 2,2 voltų per 3,5 val. leisdami srovę 6 amperų. Išeikvotas wattų skaičius čia bus 6×2,2×3,5=46,2 wattvalandų. Išlydydami tą patį akumulatorių mes turėsime voltažą vidutiniškai 2 voltus prie srovės 6 amperų per 3 valandas. Taigi gautas wattvalandų skaičius bus 6×2×3=36 wattvalandų. Todel energijos atžvilgiu, akumulatoriaus naudingumo koeficientas bus $\frac{36}{46,2} \cdot 100 = 78\%$. Paprastai šitas naudingumo koeficientas būna apie 75%.

Laboratorijoje akumulatorius turi didelės reikšmės, nes jis duoda nuolatinę srovę, kurios stiprumą galime reguliuoti, kaip kad reikia. Todel laboratorijoj šiandien akumulatorius visiškai išstūmė galvaninius elementus.

Elektrotechnikoje akumulatoriaus reikšmė visų pirma yra ta, kad jis yra elektros energijos rezervas ir, be to, aprūpinant elektros stotį akumulatorių batareja galima pasitenkinti dinamo mašina mažesnės galios ir tuo pačiu laiku daug geriau suvartoti šitą dinamo mašiną.

Tegu, pavyzdžiui, mums reikia penėti 200 Osramo lempų po 32 žvakes kiekviena. Kiekviena žvakė čia eikvoja 1 wattą. Taigi, kiekvienai lempai bus reikalinga 32 wattai arba 0,3 ampero, jeigu mes turėsime lempas įtempimui 110 voltų ($110 \times i = 32$, iš to bus $i = \frac{32}{110} = 0{,}3$ amperai). Vadinasi, 200 lempų pareikalaus 60 amperų. Apsieinant be akumulatorių batarejos čia reiks pastatyti dinamo mašina bent $110 \times 60 = 6600$ wattų $= 6{,}6$ kilowattų galios. Bet, kadangi visos lempos veiks tiktai keletą valandų vakare, kada reikia daugiausia šviesos, pastatyta mašina turės dirbti visą parą ir dirbti nevienodai užkrauta įvairiais laikotarpiais. Toksai dinamomašinos vartojimas yra netikslus, nes kiekviena mašina geriausia dirba ir geriausia išsimoka tik tada, kada ji dirba vienodai su maksimaliu užkrovimu. Kad tas būtų atsiekta, reikia aprūpinti stotis dinamomašina su akumulatorių batareja, sujungus jas lygiagrečiai. Tada galima pasitenkinti dinamo mašina per pusę mažesnės galios, t. y. dinamo mašina 3,3 kilowattų galios. Toki mašina prie 110 voltų įtempimo duos maksimum 30 amperų. Su mašina dabar sujungsime batareją iš 60 akumuliatorių maksimalės užtaisymo ir išlydžio srovės 40 amperų. Skaičius akumulatorių batarejoje nustatomas žiūrint išlydyto akumulatoriaus įtempimo, būtent 1,83 volto pro akumulatorių. Taigi, esant tinklo įtempimui 110 voltų, reikės paimti iš viso $\frac{110}{1{,}83} = 60$ akumulatorių. Sakysime, kad dienos metu vidutiniškai degs 50 lempų iš 200, tai yra dinamo mašina turės duoti tinklui $50 \times 0{,}3 = 15$ amperų. Kadangi dinamo mašina lygiagrečiai sujungta su akumulatorių batareja ir ji duoda iš viso 30 amperų, tad 15 amperų eis į akumulatoriaus batareją. Vadinasi, mašina dirbs prie pilno užkrovimo, penės tinklą ir tuo pačiu laiku varys elektrą į akumulatorius. Per 10 valandų tokia akumulatorių batareja bus užtaisyta pilnai. Artinantis vakarui skaičius lempų tinkle didės, mašina vis daugiau ir daugiau duos srovės tinklui ir vis mažiau ir mažiau batarejai. Vakare, sakysime, nuo 7 ligi 10 valandos veiks visos lempos. Tad tinklas gaus 30 amperų nuo dinamo mašinos ir tiek pat nuo akumulatorių batarejos, nes mašina ir batareja sujungtos lygiagrečiai. Bet per tris valandas akumulatorių batareja nebus išlydyta ir turės dar tam tikrą kiekį energijos. Todel nuo tam tikros valandos nakties galima bus išjungti dinamo mašina ir palikti sujungta su tinklu tik batareja, kad būtų penimas tas lempų skaičius, kuris degs dar naktį ligi ryto. Mažesnės galios mašina pigesnė, bet, reikia pasakyti, akumulatorių batareja yra brangus dalykas. Todel aprūpinimas stoties dinamo mašina ir batareja atsieis brangiau kaip pastatymas dinamo mašinos dvigubai didesnės galios. Be to, akumulatorių batareja reikalinga yra ypatingos priežiūros. Bet, galų gale, instalacija su akumulatorių batareja atsieis pigiau ir bus tikslesnė. Ir tada dinamo mašina dirbs su vienodu maksimaliu užkrovimu ir dirbs tik dienos metu ir dalį vakaro. Naktį ligi ryto mašina bus sustabdyta, nereikės priežiūros personalo, nereikės eikvoti kūras ir t. t., nes visa tai, kas dar bus reikalinga srovės atžvilgiu, atliks akumulatorių batareja ir jau be jokios priežiūros. Turint visa tai galvoj instalacija su akumulatorių batareja išsimokės geriau kaip be akumulatorių batarejos.

Kadangi užtaisyta batareja turi įtempimą $60 \times 2{,}2 = 132$ voltu, tad pradėjus dirbti tokiai batarejai reikia atjungti 10 akumulatorių, kad batarejos įtempimas būtų 110 voltų. Tai atsiekiama ypatingu įjungikliu - išjungikliu, kuris vadinasi „cellenšalteris“. Iš pradžios cellenšalteriu atjungiama 10 elementų, kurie vienas po kito tuo pačiu cellenšalteriu įjungiami krintant akumulatorių voltažui. Užtaisant batareją akumulatoriai taip pat vienas po kito atjungiami cellenšalteriu, kaip tik jie pasieks pilno užtaisymo voltažą.

Trumpai paminėsime čionai dar vieną būdą vartoti akumulatoriams, būtent kaipo buferius tais atvejais, kada srovė tinkle smarkiai svyruoja. Tas atsitinka elektros tram-

vajų tinkle, nes ant linijos būna taip, kad dauguma tramvajų bėga su maksimaliu greitumu, ir būna taip, kad daug tramvajų stovi arba įvairiose vietose bėga su įvairiais greitumais. Taigi, srovė ant linijos smarkiai svyruoja. Toksai dalykas labai nesveikas dinamomašinai. Bet jeigu dinamo mašina lygiagrečiai sujungta su akumulatorių batareja, tai mašina visą laiką dirbs prie maksimalio užkrovimo. Krintant srovei ant linijos mašina varys perteklių savo srovės į batareją. O smarkiai kilant srovei ant linijos į tinklą eis srovė ne tik nuo mašinos, bet ir nuo batarejos. Augščiau pasakyta, kad akumulatoriui nesveika srovė, stipresnė kaip tam tikras maksimumas. Bet tik tada, kada ta srovė veikia ilgesnį laiką. Per trumpą laiką akumulatorius gali išlaikyti ir dusyk stipresnę srovę kaip maksimalę. Tuo tad yra paremtas vartojimas vadinamų buferio batarejų. Tiktai plokštys toms batarejoms turi būti pagamintos taip, kad išlaikytų tūrio kitimus, surištus su smarkiais srovės svyravimais. Tudoro akumulatoriai geriausiai atatinka tokius reikalavimus. Pagaliau akumulatorių batarejos šiandien daug vartojamos kintamos srovės varikliams dirginti, kaip mes pamatysime toliau.

Labai įdomi anodinė polarizacija reiškiasi ant aluminio paviršiaus. Įpilsime į stiklo indą ortofosforo rūgšties tirpalą vidutinio stiprumo ir įkišime į šitą elektrolitą dvi plokšteles, vieną iš aluminio, o antrą iš švino. Paleidus elektros srovę taip, kad aluminis būtų anodu, srovė neis, arba jeigu ir ims eiti, tai labai greitai sustos. Bet, paleidę srovę taip, kad aluminis būtų katodu, o švinas anodu, mes turėsime srovę. Pirmuoju atveju aluminio paviršius apsitraukia ploniausiu sluogsniu aluminio oksido, kuris nepraleidžia elektros. Taigi čia anodinė polarizacija sustabdo srovę. Antruoju atveju ant aluminio išsilydo vandenilio kationai, ir vandenilis atstato iš aluminio oksido metalą aluminį, taip kad šituo atveju srovė eina per elektrolitą. Šita aluminio anodinės polarizacijos ypatybe remiasi taikymas vadinamųjų aluminio celių (aluminio ir švino plokštelės ortofosforo rūgšties tirpale) kintamajai srovei ištiesti. Kaip jau anksčiau pasakyta, kintamoji srovė yra tokia srovė, kurios kryptis ir intesingumas kinta daug sykių per sekundą. Paleidus tokią kintamąją srovę per aluminio celę nebus praleista srovė tokios krypties, prie kurios aluminis būna anodu, ir bus praleista srovė tik tokios krypties, prie kurios aluminis būna katodu. Vadinasi, tokiu būdu mes gausime iš kintamosios srovės nuolatinę srovę krypties atžvilgiu.

Išdėstyti 15 ir 16 §§ elektrolizės teorijos pagrindai sudaro elektrochemijos turinį. Tai yra šaka elektros mokslo, kuri riša fiziką ir chemiją ir kuri šiandien turi didelės reikšmės pramonei, ypač metalurgijai. Čia, žinoma, negalima padaryti kokios apžvalgos del elektrolizės dėsnių taikymo įvairiose pramonės srityse, ir todel pasitenkinsime trumpai pažymėję tik svarbiausius procesus, kurie remiasi elektrolize.

Sidabras ir auksas yra tie metalai, kurie charakterizuojasi dideliu atsparumu visokiems chemiškiems veiksniams ir todel dideliu pastovumu. Bet būtų perbrangu gaminti iš sidabro ir aukso įvairūs daiktai, vartojami paprastam gyvenime. Todel tokie daiktai, pavyzdžiui, šaukštai, taurės, žiedai, plunksnos ir t. t. gaminami iš pigesnių metalų, sakysime, vario ir paskui pasidabrinami arba paauksinami. Procesas, kuriuo tai daroma, vadinasi galvanoplastika. Visų pirma šitam procesui reikia turėti elektrolitinė tynė, t. y. tirpalą, kuriame kationais randasi sidabras arba auksas. Sidabrinimo reikalui toksai elektrolitas gaminamas iš sidabro nitrato ir ciankalio. Tarp šitų dviejų druskų tirpale vyksta tokia reakcija: $AgNO_3 + KCN = AgCN + KNO_3$. Susidaro iš pradžios nuosėdos ciansidabro, kurios reaguoja toliau su ciankalio perteklium ir duoda dvigubą (kompleksinę) druską sidabro ir kalio, einant lygtimi $AgCN + KCN = KAg(CN)_2$. Šita druska disociuota šitaip: $KAg(CN)_2 \rightarrow K' + Ag(CN)'_2 \rightarrow Ag + CN'$. Taigi šitos druskos tirpale mes turime ne tik kalio ionus, bet ir sidabro ionus. Tiesa, pastarųjų labai maža, bet išsilydžius jiems ant katodo tuojau susidaro nauja porcija ionų sidabro iš aniono $Ag(CN)'_2$. Taip pat gaminamas elektrolitas paauksinimui, imant tirpalus aukso chlorido ir ciankalį ir sumaišant juos. Susidaro kompleksinė druska kalio ir aukso — kali - aukso cianatas. Elektrolitas įpiliamas į didoką keturkampį pailgos formos indą, dažniausiai stiklinį. Ant indo krantų išilgai uždedami du vario stiebai. Ant vieno iš tų stiebų pakabinami įleidžiant į elektrolitą sidabrinami arba auksinami daiktai, o ant kito stiebo užkabinamos įleidžiant į elektrolitą sidabro arba aukso plokštelės.

Leidžiant srovę taip, kad pakabinti dalykai būtų katodu, ant jų paviršiaus nugula sluogsnis sidabro arba aukso, o atatinkamas kiekis sidabro arba aukso nutirps nuo sidabro arba aukso plokštelių, kurios veikia kaip anodas. Sidabrinami arba auksinami dalykai prieš įleidžiant juos į elektrolitą turi būti gerai nušlifuoti drėgnu smėliu arba šmirgeliu ir, be to, dar išmirkyti natrio šarme, kad būtų pašalinta nuo jų paviršiaus riebalai. Nuplovus paskui juos vandeniu jie įleidžiami į elektrolitą. Tai reikalinga padaryti, kad sidabro arba aukso sluogsnis tvirtai laikytųsi ant vario arba misingio paviršiaus. Kad tas sidabro arba aukso sluogsnis būtų kietas ir kompaktinis, reikia daboti, kad srovė būtų ne per stipri (bet ir ne per silpna, nes tada teks sugaišti daug laiko). Be to, reikalinga, kad elektrolito sudėtis būtų tam tikra. Šita sudėtis čia nurodyta. Galima atidėti ant sidabrinamo arba auksinamo daikto plonesnis arba storesnis sidabro arba aukso sluogsnis, leidžiant srovę per tam tikrą laiką. Išimtį iš elektrolitinės tynės pasidabrinti arba paauksinti daiktai dar poliruojami, kad gražiai blizgėtų.

Sąryšy su galvanoplastika reikia paminėti čia dar galvanotipiją arba vartojimą elektrolizės spaudos reikalams, gaminant klišes arba rinkinius. Jeigu toksai rinkinys bus pagamintas iš minkšto metalo, tai nuo jo negalima bus išspausdinti pakankamo skaičiaus puslapių. Todel dažnai nuo tokio rinkinio gaminamas atspūdis ant vario. Rinkinys užpiliamas sluogsniu vaško arba net ir parafino, apibarsčius prieš tai visą rinkinį grafito milteliais, kad vaškas nepriliptų prie raidžių. Vaškas hidrauliniu presu prispaudžiamas. Nuėmę vaško sluogsnį, mes turėsime, taip sakant, rinkinio negatyvą. Šita vaško forma dabar apibarstoma vėl grafito milteliais, kad būtų suteiktas elektriškas laidumas vaško paviršiui. Kad šitas laidumas dar būtų sustiprintas, ant šito paviršiaus užpiliama vario sulfato tirpalas ir į tą tirpalą pulverizatorium varomi geležies milteliai. Geležis atstato varį, kuris plonu sluogsniu išpildo visas formos detales. Pagaminta tokiu būdu forma įleidžiama į elektrolitinę tynę, pakabinus ją ant varinio stiebo ir leidžiant srovę taip, kad ji būtų katodu. Elektrolitu čia vartojamas vario sulfato tirpalas, o anodu vario plokštė, pakabinta ant kito varinio stiebo. Per vieną ar dvi valandas galima tokiu būdu atidėti pakankamai storas vario sluogsnis, kuris duos tikrą kopiją rinkinio originalo. Nuėmę vaško arba parafino sluogsnį ir užpilę ant vario kevalo ištirpinto spaudos metalo, kad forma būtų sustiprinta, mes gausime pakankamai stiprią trinkelę, nuo kurios galima bus atspausdinti didelį skaičių lapų. Tokiu pat būdu gaminami klišės popieriniams pinigams, graviuroms ir t. t.

Trumpai tik paminėsime, kad ir meno srityje galvanoplastika ir galvanotipija šiandien plačiai vartojamos.

Šarminiai ir žemės šarminiai metalai gaminami šiandien išimtinai elektrolizuojant tų metalų haloidus skystoje būklėje prie augštų temperatūrų. Elektrolizuojant šitų metalų druskų tirpalus vandeny gaminami baltintojai (medžiaga, reikalinga drobės ir kitų audeklų baltinimui) ir chloratai (medžiaga, reikalinga oksidacijos procesams, farmacijai ir sprogstamai medžiagai). Žalia medžiaga šitoje pramonės srityje turi didžiausios reikšmės paprasta stalo druska NaCl. Elektrolizuojant šitos druskos tirpalą ant anodo išsilydys chloro ionai, o ant katodo vandenilio ionai, kaip jau parodyta 15 § pradžioje. Taigi katodo srityje susidarys šarmas NaOH. Maišant elektrolitą mes tą šarmą suvesime į kontaktą su chloru ir todel bus įvykdyta reakcija $NaOH + Cl_2 = NaOCl + HCl$. Taigi mes gausime druską NaOCl, kuri vartojama baltinamąja medžiaga. Tokiu pat būdu mes galime pagaminti vadinamą baltinamąjį kalkį CaO_2Cl_2. Šita reakcija vyksta prie paprastos temperatūros. O turint karštą elektrolitą vyks dar ši reakcija: $3NaOCl = NaClO_3 + 2NaCl$. Taigi mes gausime chloratą. Tokiu būdu gaminama ir svarbi farmacijai ir pramonei Berthollet'o druska $KClO_3$, vartojant KCl.

Jeigu elektrolito nemaišytume, katodo srityje mes gautume šarmą labai stiprios koncentracijos ir jau paskui iš šarmo tirpalo pagamintume natrą, kalį ir kitus šarmus kietų kūnų pavidalu. Tuo pačiu laiku ant anodo mes gauname chlorą, kuris gali būti surinktas suspaustoje būklėje geležinėse bombose. Toksai chloras yra reikalingas įvairioms pramonės sritims.

Trumpai pažymėsime dar, kad šiandien plačiai gaminama celuloza iš medienos elektrolizuojant paprastos stalo druskos tirpalą su medžio pjūvenomis ir maišant

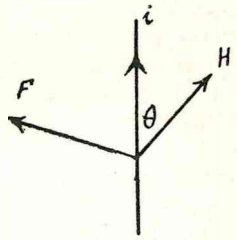
elektrolitą. Chloras suėda ligniną ir pasilieka gryna celuloza, nes ir chloras ir susidaranti prie tokios elektrolizės druska NaOCl veikia kaipo baltintojai.

Pagaliau, elektrolitinis procesas šiandien išimtinai vartojamas variui rafinuoti arba gaminti chemiškai tyram variui, kuris yra reikalingas elektrotechnikai. Vadinamas žalias varis arba juodas varis, pagamintas iš vario akmens (viena svarbiausių vario rūdžių) lydymo procesu, kombinuojant atatinkamai oksidacijos procesą su redukcijos procesu, atliejamas plokštimis, kurios įleidžiamos į elektrolitinę tynę, vartojant jas anodu. Katodu čia būna cilinderiai iš medžio, apkloti plona vario skarda. Šitie katodai sukasi tynėje, ir tokiu būdu visą laiką maišo elektroltią, kad jo koncentracija katodo srityje nesumažėtų. Elektrolitu čia vartojamas vario sulfato tirpalas tam tikros koncentracijos, pridėjus nedidelį kiekį sieros rūgšties. Juodas varis tirpsta leidžiant per jį srovę kaipo per anodą, o vario ionai išsilydo ant sukamų cilinderių. Tokiu būdu galima gauti tam tikro storumo vario sluogsnis ant katodo ir paskui nuimti tas sluogsnis nuo cilinderio. Kad tas nuėmimas būtu lengvas, cilinderio paviršius, ant kurio išsilydo vario kationai, apibarstytas grafito sluogsniu. Tuo būdu gaminami lapai įvairaus storumo chemiškai gryno vario.

Vario akmuo visuomet turi didesnę arba mažesnę priemaišą sidabro ir aukso junginių, kurie ir susitaupo žaliame arba juodame varyje. Vartojant šitą juodą varį anodu sidabras ir auksas, tirpstant variui, krinta ant elektrolitinės tynės dugno dumblo pavidalu. Iš to dumblo galima ekstrahuoti sidabras ir varis ciankaliu ir jau augščiau nurodytu būdu elektrolizuojant ekstraktą gauti sidabras ir auksas. Nors sidabro ir aukso čia nedaug, bet visgi vario rafinavimo išlaidos padengiamos šituo antraeiliu produktu.

17 §. Elektrodinamika ir elektromagnetizmas. Veikimas magnetinio lauko elektros srovei ir priešingai. Solenoido magnetinis momentas. Veikimai tarp dviejų elektros srovių. Ampermetrai, voltmetrai ir wattmetrai.

Jeigu per laidininką eina nuolatinė srovė, tai, kaip jau mes žinome, laidininko apylinkoje susidaro nuolatinis magnetinis laukas. Taigi į kiekvieną laidininką, per kurį eina srovė, tenka žiūrėti kaipo į magnetą, ir todel tarp tokio laidininko ir magneto reiškiasi mechaninės jėgos tokios pat rūšies kaip tarp dviejų magnetų. Kaip du magnetai, pakabinti judomai, stengiasi nusistatyti taip, kad jų magnetiniai laukai būtų lygiagretūs, ir todel sukasi, kol bus pasiekta tokia padėtis, taip pat sukasi magnetas ir laidininkas, per kurį eina srovė, kol sutaps magneto ir laidininko magnetinių laukų kryptys, jeigu tik laidininkas ir magnetas judomi. Jeigu laidininkas nejudomas, o magnetas judomas, tai sukasi magnetas (žiūr. 12 §, 141 pieš.). Panašiai galime demonstruoti laidininko sukimąsi, kada magnetas nejudomas, o laidininkas judomas. 12 § aprašyti galvanometrai susideda iš dviejų dalių: judomo magneto ir nejudomo laidininko, pavyzdžiui, tangens galvanometras ir Thomsono galvanometras, arba nejudomo magnetinio lauko ir judomo solenoido, pavyzdžiui, d'Arsonvalio galvanometras. Jeigu magnetinis laukas ir laidininkas padėti taip, jog lygiagretė abiejų magnetinių laukų kryptis negali būti pasiekta, tada mes turėsime sukimą tol, kol eis srovė.



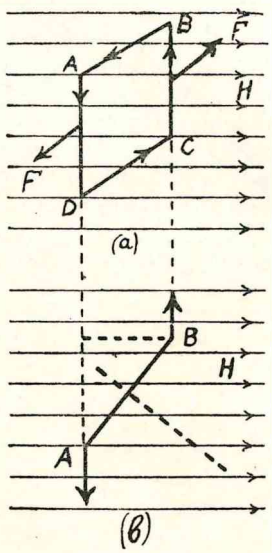
218 pieš.

Mechaninė jėga, kuri reiškiasi tarp magnetinio lauko ir srovės, visuomet yra statmeniška plokštumai, ištiestai per srovės kryptį (per laidininko liniją) ir per magnetinio lauko kryptį, kaip rodo 218 piešinys. Čia magnetinė jėga atvaizduota linija H, o srovė atvaizduota linija i, mechaninė jėga atvaizduota linija F, kuri linija yra statmeniška plokštumai Hi. Šitos mechaninės jėgos kryptį visuomet galime nustatyti Flemingo kairiosios rankos trijų pirštų taisykle: *kairiosios rankos nykštys, smaguris ir vidutinis pirštas reikia ištiesti taip, kad jie sudarytų tarp savęs tiesius kampus. Ištiesus vidutinį pirštą išilgai srovės ir srovės kryptimi, smagurį išilgai magnetinio lauko ir magnetinio*

lauko kryptimi, nykštys rodys mechaninės jėgos kryptį, t. y. laidininkas slinks magnetiniam lauke nykščio kryptimi.

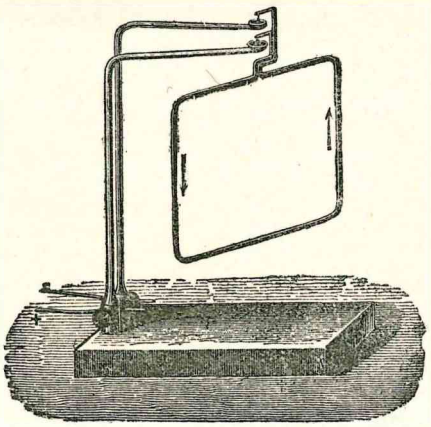
Kai del tos jėgos didumo, tai ji išreiškiama žinoma jau mums iš 12 § lygtimi: $F = Hi \sin \vartheta$. Čia H reiškia magnetinio lauko stiprumą gausais, i srovės stiprumą absoliutiniais vienetais ir ϑ kampą, kurį sudaro srovės kryptis su magnetinio lauko kryptimi (žiūr. 218 pieš.). Šita formula veikia 1 cm. laidininko ir, kaip jau mes žinome, iš 12 § ji sudaro pagrindą d' Arsonvalio galvanometro formulos. Kada srovės kryptis sudaro 90^0 su magnetinio lauko kryptimi, tada jėga $F = Hi$, nes $\sin \vartheta = \sin 90^0 = 1$.

Pasinaudosime dabar šita formula, kad apskaitytume jėgų porį, kuris veikia solenoidą tiesakampio keturkampio pavidalu, padėtą magnetiniame lauke, kaip rodo 219 piešinys (viršutinė dalis). Čia linijos su iešmomis H rodo magnetinio lauko kryptį. Solenoidą atvaizduoja keturkampis ABCD. Iešmos rodo srovės kryptį solenoide. Taikydami tą trijų pirštų kairės rankos taisyklę mes konstatuosime, kad mechaninės jėgos, veikiančios solenoido dalis AB ir CD, bus atkreiptos augštyn ir žemyn (statmeniškai plokštumoms, ištiestoms iš vienos pusės per AB ir magnetinio lauko kryptį, o iš antros pusės per DC ir magnetinio lauko kryptį), bus to paties didumo ir veiks ta pačia linija. Taigi, tos dvi jėgos kompensuos viena antrą (jų atstojamoji bus nulis). Taikydami tą pačią Flemingo taisyklę solenoido šonui AD mes konstatuosime, kad mechaninė jėga F veiks statmeniškai plokštumai, ištiestai per AD ir magnetinio lauko kryptį, taip pat ir mechaninė jėga, veikianti solenoido dalį BC, abidvi tos jėgos bus lygios, būtent, jos kiekviena bus lygi H i l, jeigu mes šonų AD ir BC ilgį pažymėsime raide l. Tos jėgos bus lygiagrečios, bet jos veiks ne išilgai tos pačios linijos. Todel mes čia turėsime jėgų porį ir to jėgų porio sukamasai momentas bus lygus Hil. EB, jeigu mes skaitysime, kad statmeniškas atokumas tarp abiejų solenoido šonų AD ir BC yra lygus EB (žiūr. 219 piešinio apatinę dalį). Tegu normališkoji solenoidui sudaro kampą ϑ su magnetinio lauko kryptimi (žiūr. 219 pieš. apatinę dalį). Tad $\angle EAB = \vartheta$ ir $EB = AB \sin \vartheta$. Tegu $AB = b$ (solenoido plotis). Tad $EB = b \sin \vartheta$, ir sukamasai jėgų porio momentas bus $Hilb \sin \vartheta$. Bet lb yra solenoido plotas (tiksliau kalbant, solenoido skerspjūvio plotas). Pažymėsime šitą plotą raide A. Tad sukamasai porio momentas bus $H i A \sin \vartheta$. Jeigu magnetas padėtas magnetiniam lauke taip, jog jo ašis sudaro kampą ϑ su magnetinio lauko kryptimi, tad tokį magnetą veikia sukamasai jėgų poris, kurio momentas yra lygus $HM \sin \vartheta$ (žiūr. 1 §). Čia H reiškia magnetinio lauko stiprumą, o $M = ml$ magneto magnetinį momentą (žiūr. 1 §). Sulyginant jėgų porio momentą, kuris veikia solenoidą magnetiniam lauke, ir jėgų porio momentą, kuris veikia magnetą magnetiniam lauke, mes prieisime išvadą, kad $M = Ai$. Žodžiu, solenoidas, per kurį eina srovė i, turi magnetinį momentą, lygų sandaugai iš solenoido skerspjūvio ploto ir srovės. Šita išvada liečia ne tik solenoidą keturkampio pavidalu, bet ir solenoidą bet kurios kitos formos. Taip solenoidas rato pavidalu turi magnetinį momentą $M = \pi r^2 i$, jeigu rato stipinas r. Vadinasi, solenoidas, per kurį eina srovė, yra ne kas kita, kaip magnetinis sluogsnis arba plonas magnetas. Apie tai jau mes kalbėjome 12 §. Iš tikrųjų, grįždami prie 219 piešinio, mes matome, kad magnetinės jėgų linijos solenoide išeina iš jo pryšakinio paviršiaus ir įeina į jo užpakalinį paviršių. Taigi, pryšakinis paviršius tokio solenoido bus plono magneto šiaurės poliu, o užpakalinis paviršius pietų poliu. Tą patį rodo ir 142 piešinys (12 §), kur atvaizduotas solenoidas rato pavidalu. Be to, šitas piešinys rodo, kad šiaurės polis visuomet bus iš tos solenoido pusės, kur žiūrint iš tos pusės srovė eina prieš laikrodžio rodyklę, o pietų polis bus iš tos pusės, kur žiūrint srovė eina su laikrodžio rodykle. Paprastu aparatu, kurį atvaizduoja 220 piešinys, galima įro-



219 pieš.

dyti, kad iš vienos solenoido pusės reiškiasi šiaurės magnetizmas, o iš kitos pusės pietų magnetizmas. Mes čia turime lentą su dviem vertikaliais misinginiais stiebais, užlenktais tiesiu kampu. Ant tų užlenktų galų randasi dvi duobelės, į kurias įpiliama gyvojo sidabro. Solenoidas čia turi keturkampio formą. Jo galai užlenkti, kaip rodo piešinys, ir izoliuoti vienas nuo antro kaučuku. Galai aprūpinti adatomis, su kurių pagalba solenoidas įdedamas į duobeles su gyvuoju sidabru. Misinginiai stiebai apačioje turi sraigtus (klemas), prie kurių galima prijungti laidininkai nuo batarejos. Paleidus srovę, kaip rodo piešinys, ir žiūrint iš pryšakio srovė eis prieš laikrodžio rodyklę. Taigi iš šitos pusės mes turėsime šiaurės magnetizmą. Ir iš tikrųjų, paėmus permanentinį magnetą ir artinant jo šiaurės polį prie solenoido iš pryšakio, solenoidas suksis taip, kad nutoltų nuo magneto šiaurės polio. Bet artinant magneto pietų polį solenoidas suksis priešingai. Tuo pačiu permanentiniu magnetu galima įrodyti, kad solenoido užpakalinė pusė reikš pietų magnetizmą. Aprašytas čia paprastas aparatas yra vadinamas Ampero staklėmis.



220 pieš.

Kad surastume sukimo kryptį solenoido, padėto magnetiniam lauke, galime pasinaudoti šia taisykle: Solenoidas visuomet sukasi taip, kad aprėptų kiek galint didesnį magnetinių jėgų linijų skaičių (kad per jo skerspjūvio plotą eitų kiek galint daugiau jėgų linijų). Jeigu solenoidas pasiekia tokią būklę, jis parimsta.

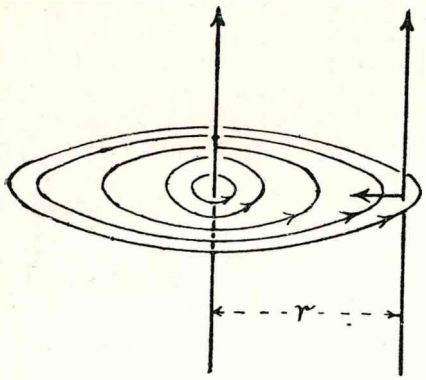
Taigi, ir solenoidas, kuris susideda iš visos eilės vingių, turi magnetinį momentą ir veikia kaip magnetas. 143 piešinys (12 §) atvaizduoja magnetinį lauką tokio solenoido (trumpas solenoidas iš eilės vingių). 7 piešinys (1 §) atvaizduoja magnetinį lauką permanentinio magneto keturkampio stiebo pavidalu. Abudu vaizdai aiškiai rodo didelį panašumą solenoido ir permanentinio magneto magnetinių laukų. Ir iš tikrųjų, laisvai pakabintas solenoidas iš eilės vingių, paleidus per jį srovę, nusistato savo ašimi magnetinio meridiano plokštumoje, nelyginant kaip laisvai pakabintas permanentinis magnetas. Toksai solenoidas indukuoja magnetizmą minkštos geležies gabale, kuris padėtas arti nuo to ar kito solenoido galo. Geležies gabalas ne tik gali būti pritrauktas prie to galo, bet ir įtrauktas į solenoido vidurį, nes geležies magnetinis pralaidumas yra visų didžiausias, ir todel geležies gabalas stengiasi įtraukti į save kiek galint daugiau magnetinių jėgų linijų ir tokios pastangos vaisiumi bus geležies gabalo įtraukimas į solenoido vidurį. Nesunku įrodyti pakabinus judomai tokį solenoidą ir paėmus permanentinį magnetą, kad tas jo galas, kur srovė eina prieš laikrodžio rodyklę, veikia kaip šiaurės magnetinis polis, o antrasis galas, kur srovė eina laikrodžio rodykle, veikia kaip pietų magnetinis polis.

Jeigu tad laidininkas, per kurį eina srovė, turi savo magnetinį lauką, tad tarp dviejų laidininkų, per kuriuos eina srovė, turi veikti tokios pat jėgos, kaip tarp dviejų magnetų.

221 piešinys atvaizduoja du tiesialinius ir lygiagrečius laidininkus, per kuriuos eina srovės i_1 ir i_2 ta pačia kryptimi. Tegu atokumas tarp abiejų laidininkų bus r cm. Tad priklausomo laidininkui A magnetinio lauko stiprumas atokume r nuo to laidininko, vadinasi, toje vietoje, kur randasi laidininkas B, bus $\frac{2i_1}{r}$, kaip jau įrodyta 12 §. Taigi laidininkas B yra įtakoje šito lauko ir jį veikia jėga $F = \frac{2i_1}{r} \times i_2 = \frac{2i_1 i_2}{r}$, skaitant 1-am cm. laidininko ilgio. Taikydami Flemingo taisyklę mes konstatuosime, kad šita jėga F veikia kryptimi nuo B į A. Tokiu pat būdu galima parodyti, kad

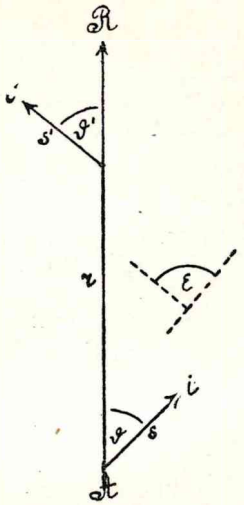
jėga $\frac{2i_2 \cdot 1}{r}$ veikia kryptimi nuo A į B. Taigi matyt, kad jeigu per du laidininkus A ir B eina srovė ta pačia kryptimi, tie du laidininkai traukia vienas antrą. Paėmus sroves i_1 ir i_2 priešingomis kryptimis, nesunku bus įrodyti, kad laidininkai A ir B stumia vienas antrą. Šitos traukos ir atsparos jėgos tarp dviejų laidininkų, per kuriuos eina srovės, visuomet yra proporcingos srovių sandaugai net ir tais atvejais, kada laidininkai neturi tokios paprastos formos ir orientuoti vienas antro atžvilgiu painesniu būdu, kaip laidininkai, kuriuos atvaizduoja 221 piešinys.

Panašius tarpusavius veikimus Amperas pavadino elektrodinaminiais veikimais ir nustatė tiems veikimams elementarinį dėsnį. Paimsime du tiesialinius srovės elementus A i ir $A^1 i^1$ (žiūr. 222 pieš.). Tegu tų elementų ilgiai bus s ir s^1, srovės juose i ir i^1, atokumas tarp jų galų A ir A^1 tegu bus r, tegu toliau srovių kryptis sudaro kampą ε tarp savęs ir kampus ϑ ir ϑ' su linija A A^1, jungiančia srovių elementų galus. Tokiomis sąlygomis, pagal Amperą, tarp abiejų srovių veikia jėga $F = \frac{i\, i^1\, s\, s^1}{r^2}(3 \cos \vartheta \cos \vartheta^1 - 2 \cos \varepsilon)$.

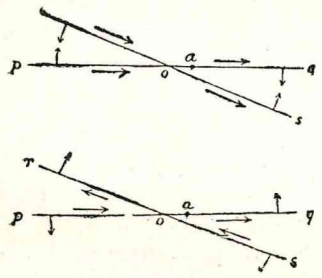


221 pieš.

Kada F turi + ženklą, tai bus atsparos jėga, o kada F turi — ženklą, tai bus traukos jėga. Eidami šituo elementariniu dėsniu galime apskaityti jėgą, veikiančią tarp dviejų uždarytų srovių, nepaisant tų srovių tinklų formos ir jų relatyvės padėties. Šitas elementarinis Ampero dėsnis turi tokios pat reikšmės elektrodinaminiam veikimui, kaip Laplace'o elementarinis dėsnis elektromagnetiniam veikimui. Kada du laidininkai, per kuriuos eina srovė, sukryžiuoti, kaip rodo 223 piešinys, ir abudu judomi arba tik vienas iš jų judomas, tai laidininkai suksis tol, kol jie nusistatys lygiagrečiai vienas antram ir taip, kad per abudu srovės eitų tą pačia kryptimi. Viršutinėje 223 piešinio dalyje srovės eina per abudu laidininkus taip, jog jos taiko į susikryžiavimo tašką O ir eina toliau nuo šito susikryžiavimo taško. Taigi čia srovė eina per abudu laidininkus ta pačia kryptimi ir todel tarp abiejų laidininkų veiks traukos jėgos, kurios suks abudu laidininkus artinant juos vienas prie antro, kol jie pasidarys lygiagretūs. Bet jeigu, kaip rodo 223 piešinio apatinė dalis, vienam laidininke eina srovė nuo susikryžiavimo taško O, o antrame laidininke srovė taiko į susikryžiavimo tašką O, tad tarp tokių srovių veiks atsparos jėgos, kurios tolins laidininkų šakas, skaitant nuo susikryžiavimo taško O vieną nuo antros ir suks abudu laidininkus arba vieną laidininką (jeigu tik vienas laidininkas judomas) tol, kol laidininkai nusistatys lygiagrečiai ir taip, kad srovės per juos eitų ta pačia kryptimi. Taigi elektrodinaminiai veikimai gali duoti sukimų taip pat, kaip ir elektromagnetiniai veikimai. Duosime čia dar du pavyzdžius: vieną elektromagnetinio, o antrą elektrodinaminio sukimo.



222 pieš.

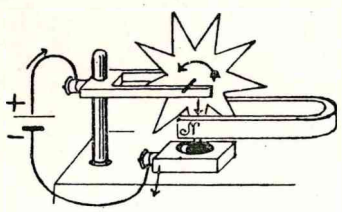


223 pieš.

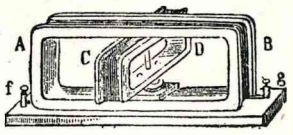
224 piešinys atvaizduoja vadinamą Barlowo ratą. Tai yra vario diskas pavidalu krumpliaračio. To disko apačioj randasi duobelė su gyvuoju sidabru, kuri liečia vienas

iš disko krumplių. Srovė nuo elemento arba batarejos eina, kaip rodo 224 piešinys, per dvišakį į ašį, apie kurią gali suktis varinis krumpliaratis. Iš ašies srovė patenka per disko dantį į gyvąjį sidabrą ir iš ten atgal į batareją arba elementą. Jeigu dabar padėtume permenantinį magnetą pasagos pavidalu taip, kad apatinė varinio disko dalis būtų tarp magneto polių, diskas ims suktis. Tiesa, ėmus suktis kontaktas tarp gyvojo sidabro ir krumplio bus pertrauktas, bet tuojau susidarys kontaktas tarp gyvojo sidabro ir kaimyno krumplio, nes prasidėjęs sukimas tęsis del inercijos. Jeigu šiaurės polis bus iš pryšakio, kaip rodo 224 piešinys, tad varinis diskas suksis kaip rodo iešmutė. Šitą sukimo kryptį galime nustatyti taikydami arba Ampero taisyklę arba Flemingo taisyklę. Sukimas tęsis čia tol, kol eis srovė, nes disko krumpliai stengsis užimti tokią padėtį, kad srovės magnetinis laukas pasidarytų lygiagretus permanentinio magneto magnetiniam laukui. Bet tokia padėtis čionai negali būti pasiekta, ir todel visą laiką einant srovei bus sukimas.

225 piešinys atvaizduoja du solenoidus: AB nejudomą ir CD judomą, nes jis gali suktis apie vertikalę ašį. Paleidus srovę per vieną ir per antrą solenoidą, solenoidas CD suksis kol jo vingiai pasidarys lygiagretūs vingiams solenoido AB ir taip, kad srovės per tuos vingius eitų ta pačia kryptimi. Jeigu dabar pakeistume srovės kryptį judomam solenoide CD, srovės bus dabar priešingos viename ir antrame solenoide ir tarp jų ims veikti atsparos jėgos, kurios suks solenoidą DC vėl tol, kol jis užims tokią padėtį, kad vėl vingiai CD ir AB bus lygiagretūs, ir srovės per abudu solenoidus eis ta pačia kryptimi. Aišku, kad tai įvyks pasisukus solenoidui CD per 180°. Taigi, jeigu solenoido ašį CD aprūpintume variniu žiedu su dviem tarpais diametringai priešingose vietose, prijungtume prie vienos žiedo pusės vieną galą solenoido vingių, o prie antros jo pusės antrą galą ir pagaliau vielas nuo batarejos arba nuo elemento prijungtume prie dviejų metalinių plokštelių, lengvai prispaustų prie žiedo pusių, tada pasisukus solenoidui CD kampu 180°, pasikeis ir kontaktas tarp plokštelių ir žiedo pusių ir todel srovė per solenoidą CD eis priešinga kryptimi. Šitas prietaisas vadinasi komutatorius. Taigi, aprūpinus tokiu komutatorium solenoido CD ašį, jis suksis, kol per solenoidą AB eis srovė. Tą patį rezultatą galime gauti ir be komutatoriaus, jeigu solenoido CD vingių plokštumos bus visuomet statmeniškos solenoido AB vingių plokštumoms. Tada einant srovei per abudu solenoidus, solenoidas CD suksis visą laiką, nes stengsis nusistatyti taip, kad jo magnetinis laukas ir solenoido AB magnetinis laukas pasidarytų lygiagretūs. Bet to čia negalima bus gauti, nes vingių plokštumos visą laiką bus statmeniškos. Taigi, čia mes turėsime tą patį rezultatą kaip ir su Barlowo ratu.



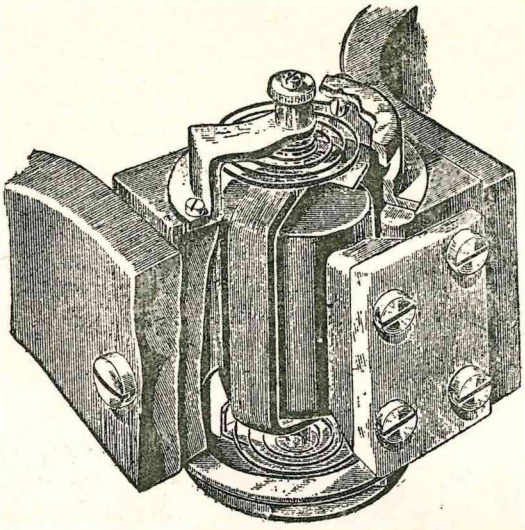
224 pieš.



225 pieš.

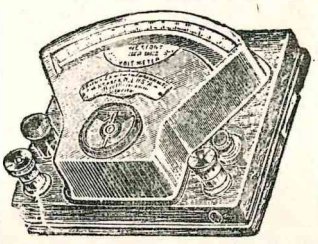
Elektromagnetiniais ir elektrodinaminiais veikimais remiasi techniški aparatai srovėms, įtempimams ir elektros energijai matuoti. Paprastai srovė matuojama ampermetrais. Ampermetras visų pirma yra ne kas kita, kaip d'Arsonvalio tipo galvanometras, aprūpintas škala, ties kuria juda tam tikras rodiklis, taip kad galima tiesioginiu būdu atskaityti amperai. d'Arsonvalio galvanometras (žiūr. 12 §, 162 ir 163 pieš.) susideda iš permanentinio stipraus magneto ir judomo solenoido, pakabinto ant plonos vielos taip, kad jis gali suktis magnetiniam lauke, einant per jį srovei. Westonas pakeitė šitą konstrukciją taip, kaip rodo 226 piešinys. Čia mes irgi turime stiprų permanentinį magnetą ir cilinderį iš minkštos geležies, kaip ir d'Arsonvalio galvanometre. Taip pat ir solenoidas turi čia keturkampio formą. Jis susideda iš aluminio rėmelių, apvyniotų plonos izoliuotos vielos vingiais. Bet šitas solenoidas ne kaba ant siūlo, o remiasi agato duobelių dviem adatoms. Jo sukimas kontroliuojamas dviem elastingais spyruokliais, tokiais pat, kurie vartojami kišeniniuose laikrodžiuose. Per vieną tų spyruoklių srovė įeina į solenoidą, o per antrąjį išeina. Su solenoidu sujungtas lengvas aluminio

rodiklis, kuris, sukantis solenoidui, slenka išilgai škalos, padalytos į amperus. Taigi, čia sukamasai elektromagnetinis poris kompensuojamas spyruoklių elastingu poriu, ir todel solenoido atsilenkimai proporcingi srovėms gan plačiose ribose (nuo 0 ligi 70°). 227 piešinys parodo išorinę formą šito ampermetro, kuris vadinasi Westono ampermetras. Paprastai šitas Westono ampermetras vartojamas silpnoms srovėms matuoti. Bet, aprūpinus jį šuntu, galima juo matuoti ir stipresnės srovės. Tegu ampermetro varža bus 10 ohmų ir tegu jo škala bus padalyta į miliamperus. Kad ta pati škala duotų amperus, reikia, kad per šuntą eitų $\frac{999}{1000}$ visos srovės, o per ampermetrą tik $^1/_{1000}$ dalis visos srovės. Taigi, einant šunto principu (žiūr. 13 §), šunto varža turi būti lygi 999 daliai ampermetro varžos, t. y. ji turi būti lygi kalbamuoju atveju $\frac{10}{999}$ ohmų. Tokie Westono ampermetrai visuomet yra aprūpinami šuntais, kurie padėti instrumento dėžėje. Ir galvanometras ir šitie Westono ampermetrai tinka tik nuolatinei srovei matuoti. Kintamoji srovė neduos jokio efekto todel, kad to paties didumo impulsai veiks solenoidą priešingomis kryptimis.



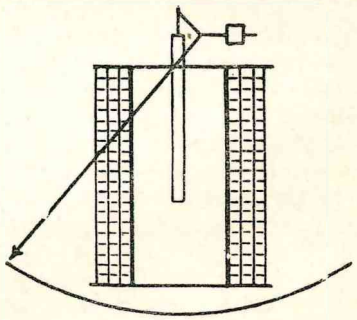
226 pieš.

Kitą tipą ampermetrų sudaro instrumentai, kurie turi nejudomą solenoidą ir judomą dalį iš minkštos geležies. Piešinys 228 parodo tokio ampermetro schemą. Mes čia turime solenoidą, susidedanti iš tuščios vidury varinės špulės, apvyniotos vingiais izoliuotos vielos. Į šitą špulę įeina galas plono stiebo iš



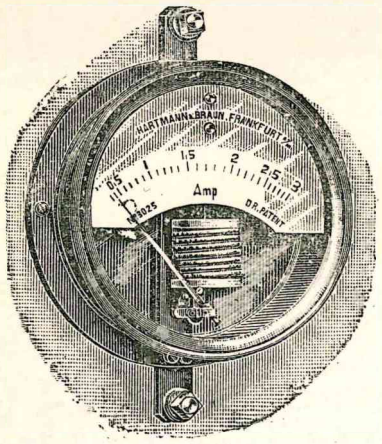
227 pieš.

minkštos geležies. Antrasis to stiebo galas prijungtas prie vieno peties laužtos svirties, ant kurios kito peties užmautas kompensuojamas svarelis. Su svirties ašimi sujungtas ilgokas lengvas rodiklis iš aluminio. Einant srovei per solenoidą, stiebas iš minkštos geležies įtraukiamas į špulę smarkiau, nes geležis visuomet slenka magnetiniam lauke iš vietos mažesnio intensingumo į vietą didesnio intensingumo arba, kitaip sakant, minkšta geležis visuomet stengiasi užimti tokią padėtį, kad per ją eitų, kiek galint, daugiau magnetinių jėgų linijų. Slenkant žemyn geležies stiebui svirtis sukasi ir kartu su ja sukasi iš kairės į dešinę pusę rodiklis. Kiekvienu atveju elektromagnetinė jėga čia kompensuojama svareliu. Taigi juo stipresnė srovė, juo didesnė elektromagnetinė jėga, juo smarkiau geležies stiebas bus įtrauktas į špulę ir juo didesnis bus rodiklio atsilenkimas ant škalos, ir priešingai. 229 piešinys atvaizduoja tokį ampermetrą. Tokios konstrukcijos ampermetrus gamina firma „Hartmann u. Braun“. Čia tiktai laužta svirtis randasi ant apatinio geležies stiebo galo ir tas geležies stiebas įtraukiamas į špulę augštyn.

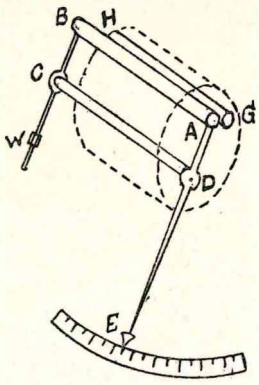


228 pieš.

To paties tipo, bet kitos konstrukcijos, ampermetrą atvaizduoja schematiškai 230 pieš. Mes čia turime špulėje, kuri atvaizduota punktyru, kaipo cilinderis, du minkštos geležies stiebus: HG ir BA, padėtus greta ir lygiagrečiai. Vienas tų stiebų HG nejudomas, o antras BA judomas. Abudu stiebai padėti vidury solenoido taip, kad jų ašys būtų lygiagretės solenoido ašiai. Einant srovei per solenoidą ta ar kita kryptimi, abudu minkštos geležies stiebai bus įmagnetinti ir visumet taip, kad galai A ir G iš vienos pusės ir B ir H iš antros pusės bus visuomet tos pačios rūšies poliais (sakysime A ir G šiaurės poliais, o B ir H pietų poliais arba atbulai). Todel visuomet tarp abiejų geležies stiebų veiks atsparos jėgos, ir stiebas BA, kaipo judomas, tolinsis nuo stiebo BH ir juo smarkiau, juo stipresnė srovė eis per solenoidą. Stiebas BA sudaro dalį rėmelių ABCD, kurie, veikiant atsparos jėgoms, sukasi apie ašį CD. Galai C ir D smailgalių pavidalo įdėti į duobeles C ir D iš agato arba kito kokio brangaus akmens. Su rėmeliais sujungtas lengvas rodiklis iš aluminio DE, kuris, sukantis rėmeliams, slenka išilgai škalos, padalytos amperais. Elektromagnetinė atsparos jėga kontroliuojama arba kompensuojama čia svareliu W, kuris nustatomas taip, kad neinant srovei per solenoidą rodiklis DE rodytų į škalos nulį.

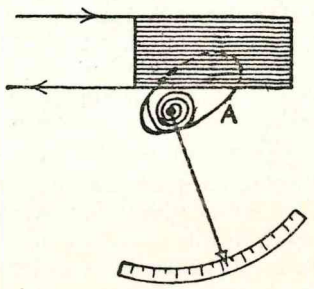


229 pieš.



230 pieš.

Pagaliau šito tipo ampermetrų variantą schematiškai atvaizduoja 231 piešinys. Čia mes turime plokščią solenoidą su siauru plokščiu kanalu. Iš kairės pusės nuo solenoido ašies padėta apvalios formos (kiaušinio formos) minkštos geležies plokštelė A. Tos plokštelės ašis eina per ją ekscentriškai ir dviem aštriais galais įdėta į duobeles (pakakles) iš agato. Su ašimi sujungtas lengvas rodiklis iš aluminio, kurio galas slenka išilgai škalos. Einant srovei per solenoidą minkštos geležies apvalainis magnetinasi ir elektromagnetinė jėga stengiasi įtraukti šitą apvalainį į solenoidą. Kadangi apvalainis A padėtas ekscentriškai, tai elektromagnetinės jėgos veikimo išdava yra sukimas apvalainio, kuris čionai kontroliuojamas tokiu pat spyruokliu, kokie vartojami kišeniniuose laikrodžiuose. Taigi spyruoklio elastingumo sukamasai poris kiekvienu momentu kompensuoja elektromagnetinį sukamąjį porį. Bet šita kompensacija ir čia gali būti įvykdyta su pagalba svarelio, atatinkamai sujungto su ašimi apvalainio A.



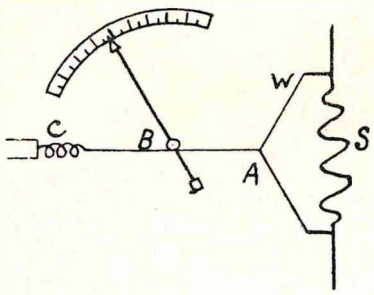
231 pieš.

Aprašyto tipo ampermetruose srovė tiesiog eina per solenoidą, nevartojant šunto. Stiprioms srovėms solenoidas sudaromas iš keleto vingių storos vielos. Silpnoms srovėms imama plona viela ir didinama vingių skaičius. Be to, visi tie minkštos geležies ampermetrai (vadinasi, su nejudomais solenoidais) tinka vienodai kaip nuolatinei, taip ir kintamajai srovei matuoti, nes atsilenkimo kryptis čia visuomet bus ta pati nepaisant krypties, kuria eina srovė per solenoidą.

Taip pat nepareina nuo srovės krypties ir atsilenkimas rodiklio vadinamuose karštos vielos arba šilimos ampermetruose. Taigi ir šitie ampermetrai vienodai tinka kaip nuolatinėms, taip ir kintamosioms srovėms matuoti. Tokio šilimos ampermetro schemą

parodo 232 piešinys. Čionai pagrindinė srovė J eina per šuntą S, sujungtą lygiagrečiai su plona platinos - iridio viela W. Taigi per šitą vielą eina tik maža dalis srovės J. Prie platinos - iridio vielos taške A prijungtas elastingas kvarco arba metalo siūlas. Tasai siūlas apvyniotas apie ašį B, su kuria sujungtas instrumento lengvas rodiklis, ir antras siūlo galas prijungtas prie spyruoklio C. Taigi, šitas spyruoklis laiko visas vielas pakankamai ištemptas. Einant srovei per platinos - iridio vielą W, vieloje W susidaro Joulio šilima, ta viela kaista ir skečiasi ir todel nuslūgsta (vielos įtempimas mažėja). Todel spyruoklis C gali tempti dabar vielą CBA į priekį ir darydamas tai suka ašį B, o sujungtas su ašimi rodiklis slenka išilgai škalos. Tokio ampermetro škala turi būti graduota amperais, sulyginus ją su parodymais ampermetro - standarto. Matuojant tik silpnas sroves (silpnesnes kaip 0,3 ampero) galima apsieiti be šunto S. Bet stipresnėms srovėms šuntas yra būtinas.

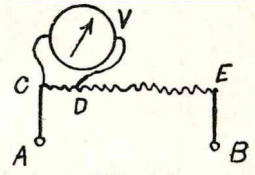
Šito šilimos ampermetro išorinė forma yra tokia pat, kaip elektromagnetiškai veikiančių amperų (žiūr. 227 ir 229 piešinys).



232 pieš.

Voltažas arba įtempimas (potencialų skirtumas) tarp dviejų laidininkų arba tarp dviejų vietų to paties laidininko matuojamas voltmetrais. Voltmetrai turi visais atžvilgiais tokią pat konstrukciją kaip ir ampermetrai. Vadinasi, ir voltmetrai yra trijų tipų: 1) tipo d'Arsonvalio su judomu solenoidu ir nejudomu magnetiniu lauku; 2) tipo minkštos geležies arba judomos šerdies su nejudomu solenoidu, ir pagaliau 3) šilimos arba karštos vielos voltmetrai. Skirtumas tarp ampermetrų ir voltmetrų yra tiktai prijungimo būde. Ampermetrai visuomet įjungiami serija arba iš eilės, o voltmetrai visuomet prijungiami prie dviejų laidininko taškų arba prie dviejų laidininkų lygiagrečiai (šuntu). Todel ampermetrai visuomet turi mažą varžą, kad, įjungus ampermetrą, kiek galint mažiau pakitėtų srovė laidininke. Tuo tarpu voltmetrai turi visuomet didelę varžą, nes, įjungę didelę varžą šuntu, mes mažai pakeisime srovę pagrindiniam laidininke.

Kad miliampermetru, kurį atvaizduoja 227 piešinys, galima būtų naudotis kaipo voltmetru, reikia sujungti su juo iš eilės didelė varža. Pavyzdžiui, reikia prijungti prie jo iš eilės 990 ohmų, jeigu jo varža yra lygi 10 ohmų. Tad visa varža bus lygi 1000 ohmų ir potencialų skirtumas, kuris atatinka visai tai varžai, einant Ohmo dėsniu bus lygus i r = 0,001 × 1000 = voltas. Taigi, tokiu atveju kiekvienas miliamperas atatiks vienam voltui, ir miliampermetras, aprūpintas didele varža, visiškai nekeičiant jo škalos, tiesiog rodys voltus. O milivoltams matuoti galima naudotis miliampermetru be jokios priedinės varžos, tiktai reikės graduoti škala milivoltais.



233 pieš.

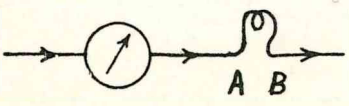
Kitą būdą, kuriuo yra vartojamas miliampermetras kaipo voltmetras, atvaizduoja schematiškai 233 piešinys. Didelė varža CE, sakysime, 1000 ohmų prijungiama prie instrumento bornų A ir B. Ant vielos CE imami du taškai C ir D taip, kad varža atkarpos CD būtų lygi 1 ohmui. Miliampermetras su škala, padalyta milivoltais, kitaip sakant, milivoltmetras prijungiamas prie taškų C ir D. Tada kiekvienam milivoltui tarp taškų C ir D atatiks 1 voltas tarp taškų A ir B. Vadinasi, parodymai milivoltmetro V duos voltus tarp taškų A ir B. Keičiant santykį tarp varžų CE ir CD galima su pagalba to paties milivoltmetro atskaityti dešimteriopi ir net šimteriopi voltai. Vadinasi, dabar milivoltui atatiks 10 arba net 100 voltų.

Vartojant šilimos ampermetrą kaipo voltmetrą reikia jis sujungti iš eilės su didele varža. Taip pat vartojant minkštos geležies ampermetrą kaipo voltmetrą reikia solenoidas padaryti iš didelio skaičiaus vingių plonos vielos, kad būtų didelė varža ir tuo pačiu laiku, kad instrumentas būtų pakankamai jautrus.

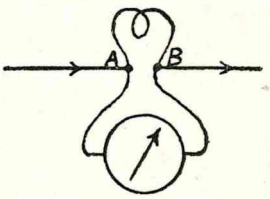
234 ir 235 piešiniai rodo ampermetro ir voltmetro sujungimo schemas. Matuojant, sakysime, srovę, kurią eikvoja kaitinimo lemputė AB, ampermetras įjungiamas iš eilės, kaip rodo 234 pieš., o matuojant kaitinimo lemputės AB voltažą voltmetras prijungiamas prie laidininko šuntų, kaip rodo 235 piešinys.

Pagaliau, priminsime čia tik, kad aprašytas 8 § elektrostatinis voltmetras (kvadrantų elektrometras) tikslumo ir jautrumo atžvilgiu yra geriausias instrumentas.

Aprašyti matavimo instrumentai remiasi elektromagnetiniais veikimais. Yra visa eilė matavimo instrumentų, kurie remiasi elektrodinaminiais veikimais ir kurie vadinasi dinamometrai. Aprašysime čia tik jų vieną, būtent, Siemenso elektrodinamometrą, su kurio pagalba galima matuoti ir srovė ir elektros energija. Šitą aparatą atvaizduoja schematiškai 236 piešinys. Mes čia turime du solenoidus pavidalu keturkampių ABCD ir PQRS. Vienas iš tų solenoidų ABCD judomas ir paprastai susideda tik iš vieno vingio storesnės vielos. Šitas solenoidas kaba ant spyruoklio, kurio antras galas prijungtas prie galvelės T ir prie rodiklėlio. Sukantis solenoidui ABCD, suksis ant apskritos škalos ir rodiklėlis, ir spyruoklis bus užsukamas. Antrasis solenoidas PQRS nejudomas ir susideda iš keliolikos arba net ir keliasdešimt vingių plonesnės vielos. Abudu solenoidai, kaip rodo 236 pieš., sujungiami iš eilės taip, kad srovė, perėjus per solenoidą ABCD, eina per solenoidą PQRS. Einant srovei per solenoidą susidaro elektrodinaminis sukamasai poris, kuris suka solenoidą ABCD iš kairės į desinę pusę, kaip rodo iešmutės (šitą sukimo kryptį galime surasti taikydami trijų pirštų taisyklę). Elektrodinaminis sukamasai poris čia kompensuojamas spyruoklio užsukimu. Norint surasti šitą spyruoklio užsukimą, reikia sukti atgal diskas su padalijimais taip, kad solenoidas ABCD būtų grąžintas į jo pirmykščią (nulinę) būklę. Tada ir rodiklėlis, prijungtas prie spyruoklio galo, irgi rodys nulį, o rodiklis G, kuris sujungtas su sukamu solenoidu ABCD, duos ant disko kampą, kuriuo reikėjo pasukti spyruoklį, kad būtų grąžintas solenoidas ABCD į jo nulinę būklę, kitaip sakant, kad būtų kompensuotas jo sukamasis poris. Kaip jau mes matėme, jėga, veikianti tarp dviejų srovių, yra proporcinga tų srovių sandaugai. Kadangi čia per abudu solenoidus eina ta pati srovė, tad jėga, veikianti tarp gretimų šakų solenoidų AD, PS arba BC, QR yra proporcinga i^2. Taigi ir sukamasai poris yra proporcingas i^2. Tegu užsukimas spyruoklio, atskaitytas ant disko, bus lygus kampui ϑ. Tad užsukimo poris bus irgi proporcingas tam kampui. Taigi mes turėsime: $k_2 \vartheta = k_1 i^2$ arba $\vartheta = KI^2$. Čia k_1 ir k_2 reiškia proporcingumo veiksnius ir $K = \frac{k_1}{k_2}$. Taigi srovė $I = \sqrt{\frac{\vartheta}{K}} = C\sqrt{\vartheta}$, jeigu mes laikysime $\frac{1}{\sqrt{K}} = C$.



234 pieš.



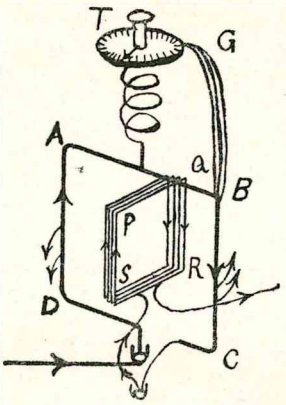
235 pieš.

Pakeitus srovės kryptį, ji dabar eis priešinga kryptimi kaip per vieną taip ir per antrą solenoidą Vadinasi, sukamasai poris veiks ta pačia prasme kaip ir pirmuoju atveju, ir solenoidas ABCD atsilenks ta pačia prasme. Taigi ir elektrodinamometru galime matuoti ir nuolatines sroves, ir kintamąsias sroves. Kad srovę galima būtų išreikšti amperais, reikia nustatyti instrumento konstantą C, leidžiant per instrumentą žinomą srovę.

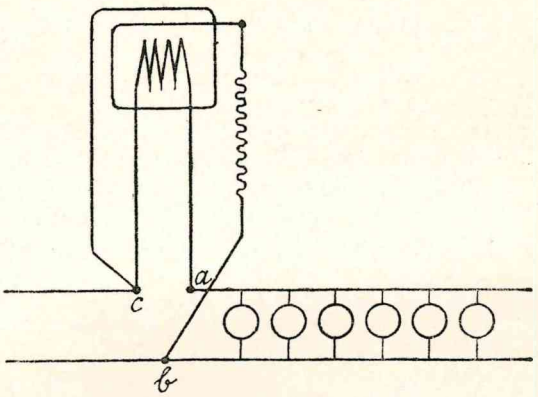
Matuojant minkštos geležies ampermetrais arba šilimos ampermetrais, arba dinamometrais kintamąją srovę, nustatoma vadinama efektyvė srovė arba vidutinė srovė.

Elektrodinamometru Siemenso dažnai matuojama elektros energija, eikvojama toje ar kitoje elektros tinklo dalyje. Tada elektrodinamometras yra vadinamas watmetru. Tuo atveju nejudoma dinamometro dalis, paprastai solenoidas mažos varžos r, įjungiamas iš eilės į tinklą tarp c ir a, kaip rodo 237 piešinys, o judamoji dalis, susidedanti iš daugelio vingių plonos vielos, vadinasi, didelio pasipriešinimo R, prijungiama

prie tinklo šuntų, t. y. prie tinklo taškų c ir b. Dažnai šito solenoido varža padidinama dar reostatu, kuris prijungiamas prie solenoido iš eilės, kaip rodo 237 piešinys. Tegu pagrindinė srovė, kuri eina per nejudomą laidininką, bus lygi i amperų, ir potencialų skirtumas tarp tinklo taškų a ir b bus V. Tad sukamasai elektrodinaminis poris, kuris veikia judomąjį selenoidą, bus proporcingas $i \cdot \frac{V+ir}{R}$, t. y. bus proporcingas srovių, einančių per abudu solenoidus, sandaugai (per vieną solenoidą eina srovė i, o per antrą solenoidą srovė $\frac{V+ir}{R}$, nes potencialų skirtumas tarp taškų c ir b yra lygus $ir + V$). Paprastai varža r nejudomo solenoido yra maža, ir dydis ir galima atmesti, sulyginti su dydžiu V. Taigi sukamasai elektrodinaminis poris bus proporcingas $\frac{i \cdot V}{R}$. Antra vertus, tas poris čia kompensuojamas užsukto spyruoklio elastingumo poriu, kuris proporcingas užsukimo kampui ϑ (užsukimo kampas ϑ nustatomas, kaip jau parodyta, vartojant dinamometrą kaip ampermetrą). Taigi $\frac{i \cdot V}{R} = c\vartheta$ arba $i \cdot V = C \cdot \vartheta$, skaitant $Rc = C$. iV čia reiškia wattus (voltamperus), o C konstantą, kuri yra ne kas kita, kaip wattų skaičius, kuris atatinka užsukimo kampo vienetui.



236 pieš.



237 pieš.

Dažnai wattmetrai arba elektros skaitikliai, vartojami praktikoje, susideda iš dviejų solenoidų: vieno judomo, o antro nejudomo, kaip atvaizduoja 225 piešinys, tik ta sąlyga, kad vingių plotmės abiejų selenoidų būtų statmeniškos viena antrai. Paprastai vienas tų solenoidų, sakysime, judomas turi mažą varžą ir įjungiamas į tinklą taip, kaip ampermetras. Taigi, jis matuoja amperus, o antrasis, nejudomas, turi didelę varžą ir prijungiamas prie tinklo šuntų, kaip voltmetras. Taigi jis matuoja voltus. Einant srovei per tinklą elektrodinaminis poris bus proporcingas i . V, t. y. bus proporcingas wattų skaičiui, kurį eikvoja tinklas per 1 sekundą. Įtakoje to elektrodinaminio porio judomasai solenoidas sukasi ir tas jo sukimas sistema krumpliaračių suteikiamas eilei laikrodžio iešmučių, iš kurių viena iešmutė rodo kilowattus, antra kilowatto dešimtąsias dalis, trečia šimtines dalis ir t. t. Aprašyti čia elektros skaitikliai arba wattmetrai tinka nuolatinės srovės energijai matuoti. Kintamosios srovės wattmetrai savo esme remiasi tuo pačiu elektrodinaminiu veikimu, bet jų konstrukcija modifikuota ta prasme, kad būtų eliminuota elektromagnetinė indukcija, kuri reiškiasi tarp dviejų laidininkų, jeigu per juos eina kintamoji srovė. Apie šitą elektromagnetinę indukciją kalbėsime kitame paragrafe.

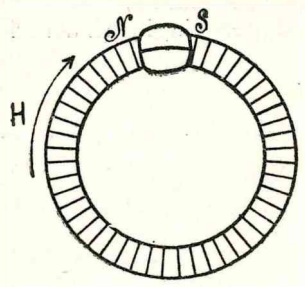
18 §. Magnetinimas. Magnetinimo intensingumas. Magnetinė indukcija. Magnetinis įspūdingumas ir magnetinis pralaidumas. Magnetinis sriautas ir Ohmo desnis. Magnetinimo ir demagnetinimo kreivosios. Koercijos ir retensijos jėgos. Histerezis. Ciklinė būklė. Energijos išsklaidymas del histerezio. Ewingo molekulinė magnetizmo teorija. Elektromagnetai ir jų pakeliamoji jėga.

17 § pradžioje nurodyta, kad soleinoidas ploto A, per kurį eina srovė i, yra plonas magnetas arba magnetinis sluogsnis magnetinio momento M=Ai. Šita lygtis veikia solenoidui iš vieno vingio (vienam vielos ratui). Jeigu solenoidas susideda iš N vingių, jis yra ekvivalentingas magnetui magnetinio momento M=AiN. Sandauga iš srovės i ir vingių skaičiaus N vadinasi amper - vingiais. Taigi, solenoido magnetinis momentas yra lygus jo skerspjūvio plotui A, padauginus į amper - vingių skaičių iN. Antra vertus, jeigu solenoido ilgis yra L ir ant jo galų mes turime magnetizmo kiekius ± m (polių stiprumas), tad jo magnetinis momentas M = mL = AiN. Iš to: m = $= \frac{AiN}{L} = Ain$, jeigu mes laikysime $\frac{N}{L} = n$ = vingių skaičius solenoido vieneto ilgiui. Bet, jeigu polio stiprumas m, tai iš to polio išeina iš viso $4\pi m = 4\pi niA$, jėgų linijų arba jėgų vamzdelių (žiūr. 1 §). Tai yra magnetinis sriautas, kuris išeina iš magneto polio. Tad magnetinio lauko stiprumas $H = 4\pi n i$, nes tai bus jėgų linijų skaičius, kuris išeina iš vieno cm.^{2} magnetinio polio ploto. Žiūrint į šitą formulą galima manyti, kad didinant vingių skaičių solenoide ir stiprinant srovę galima pasiekti labai didelis magnetinio lauko stiprumas. Bet reikia skaitytis su tuo, kad didindami vingių skaičių mes didinsime varžą, o didindami varžą ir srovę kelsime Joulio efektą. Solenoidas ne tik įkais, bet gali ir sudegti. Todel praktikoje galima gauti su solenoidu magnetinis laukas stiprumo 800 gausų, t. y. 1600 sykių stipresnis kaip žemės magnetinis laukas. Vėsinant solenoidą galima gauti magnetinis laukas apie 1500 gausų. Taigi didinant amper-vingių skaičių solenoido negalima bus peržengti tam tikrų ribų magnetinio lauko stiprumui. Bet užtat įkišus į solenoidą šerdį iš minkštos geležies, bus sustiprintas magnetinis sriautas, nes per 1 cm.^{2} geležies šerdies skerspjūvio pereina daug daugiau jėgų linijų, kaip per 1 cm.^{2} ore. Vadinasi, solenoidas su geležine šerdimi vidury veiks kaipo magnetas daug smarkiau. Todel tokia kombinacija solenoido su šerdimi iš minkštos geležies yra vartojama vietoj stipraus magneto ir, kaip jau paminėta 17 § pradžioje, tokia kombinacija yra vadinama elektromagnetu. Nustojus eiti srovei per solenoidą, geležies magnetizmas tuojau išnyksta, jeigu srovė buvo silpna. Prie stipresnių srovių, pertraukus srovę, geležyje reiškiasi magnetizmo likučiai. Tie magnetizmo likučiai ypatingai žymūs ir ilgai išsilaiko, jeigu vietoj minkštos geležies imamas plienas. Todel šiandien permanentiniai magnetai iš plieno gaminami išimtinai įkišant plieno stiebą į solenoidą arba apsupant plieno pasagą solenoidu ir leidžiant per solenoidą tam tikrą laiką srovę. Tokiu būdu patogiai ir greitai galima pagaminti stiprūs permanentiniai magnetai.

Atsiminsime dabar kai kuriuos magnetinius dydžius, kurie jau paminėti 1 §. Tegu geležies šerdies solenoide magnetinis momentas bus M=m. 1 (Čia m magnetinis kiekis ant šerdies galų ir 1 šerdies ilgis) ir tegu geležies tūris bus v. Tad $\frac{M}{v} = J =$ magnetinimo arba magnetizmo intensingumas $= \frac{ml}{ql} = \frac{m}{q}$. Čia q reiškia geležies skerspjūvio plotą. Taigi, magnetinimo arba magnetizmo intensingumas J yra lygus magnetizmo kiekiui ant geležies galo, skaitant 1 - am cm.^{2} ploto. Šitas intensingumas J yra proporcingas magnetinamajai jėgai arba magnetinamojo lauko stiprumui H. Pažymėsime šitą proporcingumo veiksnį raide k. Tad turėsime: J = kH, iš to: $= \frac{J}{H}$. Kaip jau pasakyta 1 §, šitas santykis vadinasi magnetiniu medžiagos įspūdingumu ir yra

charakteringas skaičius magnetinei medžiagai. Įvairių rūšių minkštos geležies magnetinis įspūdingumas svyruoja tarp 100 ir 200. Šitas skaičius kinta augant magnetinamajai jėgai H ir yra pastovus dydis veikiant silpnoms magnetinamosioms jėgoms (einant per solenoidą silpnoms srovėms).

Kaip jau 1 ir 12 §§ konstatuota, magnetinės jėgų linijos visuomet yra uždarytos kilpos ir tuo jos skiriasi nuo elektros jėgų linijų, kurios visuomet tęsiasi nuo + įlydžių į — įlydžius, o magnetinės jėgų linijos išeina iš magneto šiaurės polio, tęsiasi ore, įeina į magneto pietų polį ir per magneto medžiagą grįžta atgal į šiaurės polį. Taigi ore jos eina priešinga kryptimi, nekaip geležyje, ir todel iš dalies mažina geležies magnetizmą. Vadinasi, solenoide cilinderio pavidalu su dviem galais negalima smarkiai įmagnetinti geležies. Smarkiausią magnetinį efektą mes gausime, paėmę solenoidą grandies arba žiedo pavidalu (žiūr. 238 pieš.). 12 § duotos formulos magnetinio lauko stiprumo H cilindriniam solenoidui, kurio ilgis labai didelis sulyginti su jo diametru, ir tiesialiniam laidininkui. Duosime dabar magnetinio lauko stiprumo H formulą solenoidui žiedo pavidalu. Tegu žiedo vidutinis stipinas bus r ir vingių skaičius ant žiedo 1 cm ilgio bus n. Tad visas vingių skaičius bus $2\pi rn$. 12 § jau mes matėme, kad apvarant polio vienetą apie laidininką, per kurį eina srovė i, bus atliktas darbas $4\pi i$. Kadangi mes čia turime $2\pi rn$ vingių, tad polio vienetas apibėgs $2\pi rn$ sykių apie laidininką, ir todel atliktas darbas kalbamuoju atveju bus: $4\pi i \times 2\pi rn$. Antra vertus, pažymėję magnetinio lauko stiprumą raide H, darbas bus atliktas prieš jėgą H kely $2\pi r$. Vadinasi, atliktas darbas bus $H \times 2\pi r$. Taigi mes turime: $H \times 2\pi r = 4\pi i \times 2\pi rn$. Iš to: $H = 4\pi in$.



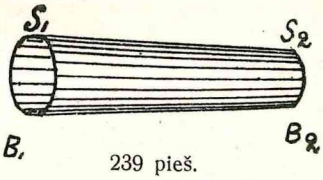
238 pieš.

Paimsime minkštos geležies žiedą ir apsupsime jį glaudžiai izoliuotos vielos vingiais. Leisdami srovę per šitą žiedą — solenoidą mes gausime smarkiausią magnetinį efektą, nes čia mes turėsime bepolini magnetą. Vadinasi, visos magnetinės jėgų linijos eis čia tiktai per geležį, jeigu tik geležies žiedo storumas maža skiriasi nuo solenoido storumo. Įsivaizduokim dabar, kad iš šito žiedo išpjauta labai maža dalis, taip kad susidaro oro tarpas. Tad jeigu magnetinamoji jėga veikia taip, kaip rodo iešma (žiūr. 238 pieš.), tada ant vieno to tarpo galo mes turėsime šiaurės magnetinį polį N, o ant antrojo – pietų magnetinį polį S. Bet magnetinės jėgų linijos yra uždarytos kilpos. Tad per šitą tarpą eis visos vadinamos indukcijos linijos arba magnetinimo linijos, kurios eina per išsirikiavusius geležies molekulinius magnetus, veikiant megnetinei indukcijai. Šitos magnatinės indukcijos linijos visiškai yra panašios į elektrostatinės indukcijos linijas dielektrike, kaip buvo kalbama 7 §. Jų bus tiek, kiek susidarys eilių iš elementarinių arba molekulinių magnetų, nustačius juos magnetinamosios jėgos H kryptimi. Taigi magnetinės jėgų linijos oro tarpe NS bus tęsinys šitų indukcijos linijų. Prie šitų indukcijos linijų prisidės dar H — linijų, skaitant 1-am cm^2., kurias duoda magnetinantis solenoidas. Pažymėję magnetizmo intensingumą geležies žiede raide J, skaičius indukcijos linijų 1 cm^2. bus $4\pi J$. Todel visas skaičius jėgų linijų, einančių per 1 cm^2. oro tarpo, bus $H + 4\pi J = B$, ta vienok sąlyga, kad magnetinamojo lauko ir magnetinimo kryptys sutampa. Šitas dydis B vadinasi magnetinės indukcijos tankumas arba, paprastai, magnetinė indukcija. Kadangi $J = kH$, tad $B = H + 4\pi k H$, iš to: $\frac{B}{H} = 1 + 4\pi k = \mu$. Santykis tarp magnetinės indukcijos B ir magnetinančio lauko stiprumo H (solenoido lauko) vadinasi magnetinis pralaidumas. Paskutinė lygtis nustato santykius tarp magnetinio pralaidumo ir magnetinio įspūdingumo. Eidami šita lygtimi ir atsimindami, kad minkštos geležies magnetinis įspūdingumas svyruoja tarp 100 ir 200, mes gausime geležies magnetiniam pralaidumui μ skaičius nuo 2200 ligi 2500. Magnetinis pralaidumas oro yra lygus vienetui (taip priimta). Vadinasi, kad jeigu ore per 1 cm. pereina viena linija, tai pakeitus orą geležimi per 1 cm^2. eis nuo 2200 ligi 2500 jėgų linijų. Todel magnetinis pralaidumas yra visiškai analogiškas dydis dielek-

trinei konstantai ir turi tos pačios reikšmės nagrinėjant magnetinimą, kaip dielektrinė konstanta nagrinėjant elektrinimą.

Įsivaizduokim jėgų vamzdį, apribotą jėgų linijomis (žiūr 239 pieš.). Paimkime to vamzdžio skerspjūvius dviejose vietose S_1 ir S_2. Magnetinė indukcija B yra jėgų linijų skaičius, kuris eina per 1 cm^2. skerspjūvio ploto. Tegu pjūvyje S_1 jėgų vamzdžio per 1 cm^2. pereina B_1 jėgų linijų, o pjūvyje S_2 B_2 jėgų linijų. Bet visas jėgų linijų skaičius N, kuris pereina per skerspjūvį S_1, pereina ir per skerspjūvį S_2, jeigu tik jėgų linijos eina normališkai skerspjūvio plotui. Čia mes turime tuos pačius santykius, kaip ir hidrodinamikoje (žiūr. „Skysčiai ir Dujos", 8 §, 32, 33 puslap.).

Nusistačius patvariems santykiams (nuolatinei srovei) kanale arba vamzdyje, per kurį teka skysčiai, per kanalo arba vamzdžio skerspjūvį bet kurioje vietoje visuomet pereina tas pats skysčio kiekis. Taip pat atrodo ir magnetinis sriautas. Vadinasi, visas sriautas $N = B_1S_1 = B_2S_2 = ... = BS$, lygiai kaip skysčio sriautas per skerspjūvį q yra lygus qv, jeigu v yra skysčio tūris arba kiekis, kuris pereina per 1 cm^2. skerspjūvio.



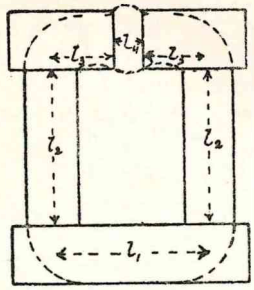
239 pieš.

Taigi magnetinis sriautas $N = BS$ yra panašus į skysčio nuolatinę srovę ir elektros srovę, kuri, einant Ohmo dėsniu, visuomet gali būti išreikšta žinoma mums lygtimi: $i = \frac{E}{R}$. Čia i reiškia kulonų skaičių, kuris per 1 sekundą pereina per laidininko skerspjūvį bet kurioje vietoje, E reiškia elektrovaromąją jėgą ir R elektrišką varžą. Turint galvoje minėtą panašumą tarp magnetinio sriauto ir elektros srovės kalbama apie magneto-motorinę jėgą ir magnetinę varžą, ir magnetinį sriautą išreiškiama Ohmo lygtimi. Darant magnetinių dydžių apskaitymus toksai magnetinio sriauto išreiškimas esti dažnai tikslingas ir patogus. Išreikšime tokiu būdu magnetinį sriautą bepoliam elektromagnetui žiedo pavidalu (žiūr. 238 pieš.). Šituo atveju magnetinė indukcija $B = \mu H$. Taigi, magnetinis sriautas $BS = \mu HS$. Bet magnetinio lauko stiprumas solenoide žiedo pavidalu $H = 4\pi n i = \frac{4\pi N i}{L}$. Čia n yra vingių skaičius 1 cm. solenoido ilgio. Taigi, pažymėję visą solenoido vingių skaičių raide N ir solenoido ilgį raide L, mes turėsime $n = \frac{N}{L}$ ir gausime minėtą lygtį solenoido magnetiniam laikui H. Tai turėdami mes gausime tokią formulą visam magnetiniam sriautui: $BS = \frac{\mu 4\pi N i S}{L} = \frac{4\pi N i}{\frac{L}{\mu S}}$.

Sandauga iš visų solenoido vingių į srovę i vadinasi amper-vingių skaičius. Sandauga amper-vingių skaičiaus į 4π vadinasi magneto-motorinė jėga. Vardiklyje mes turime reiškinį $\frac{1}{\mu} \cdot \frac{L}{S}$, kuris visiškai yra panašus į elektros varžos reiškinį einant Ohmu, būtent elektros varža $R = \frac{1}{k} \cdot \frac{L}{S}$. Čia k reiškia specifinį medžiagos laidumą, o atvirkščias jam dydis $\frac{1}{k}$ reiškia specifinę elektros varžą. Iš analogijos μ vadinasi medžiagos magnetinis laidumas arba pralaidumas, o atvirkščias jam dydis $\frac{1}{\mu}$ bus specifinė magnetinė varža. Taigi $\frac{1}{\mu} \frac{L}{S}$ einant Ohmu bus magnetinė varža arba, kaip dažnai anglai sako, magnetinis atgręžimas, nenoras („reluctance"). Išreikšdami magnetinį sriautą BS absoliutiniais elektromagnetiniais vienetais mes turėsime: $BS = \frac{4\pi N i}{10 R}$. Čia $R = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{L}{S}$, ir dalijama į 10 todel, kad srovė i išreikšta amperais, o vienas amperas sudaro $^1/_{10}$ dalį weberio arba absoliutinio elektromagnetinio srovės vieneto.

Jeigu žiedas (238 pieš.) turi oro tarpą, tad, apskaičius magnetinį sriautą, kaip parodyta, galima surasti magnetinė indukcija B oro tarpe, padalijus magnetinį sriautą į oro tarpo skerspjūvį S. Bet orui $\mu = 1$. Taigi orui $B = H$. Vadinasi, tokiu būdu mes galime surasti magnetinio lauko stiprumą oro tarpe. Duosime čia konkretų pavyzdį. Tegu žiedas turi 400 vingių vielos ir per tuos vingius eina srovė 1,5 ampero. Tad magneto-motorinė jėga bus $\frac{4\pi.400.1,5}{10} = 240\pi$ absoliutiniais c. g. s. vienetais. Tegu solenoido ilgis bus 50 cm. ir jo skerspjūvio plotas 0,5 cm². Tad geležies žiedo magnetinė varža bus $\frac{50}{500.\ 0,5} = 0,2$. Čia geležiai laikoma $\mu = 500$. Tegu pagaliau oro tarpas žiede yra lygus 2 m/m. arba 0,2 cm. Tad oro tarpo magnetinė varža bus $\frac{0,2}{0\,5} = 0,4$, nes orui $\mu = 1$. Vadinasi, visa magnetinio rato magnetinė varža bus $0,2 + 0,4 = 0,6$, ir todel, atsimenant Ohmo lygtį, visas magnetinis sriautas $N = \frac{240\pi}{0,6} = 1257$.

Kadangi $N = BS$, tai $B = \frac{1257}{0,5} = 2514$ c. g. s. vienetų $= H$, nes orui magnetinis pralaidumas yra vienetas. Tuo būdu mes gausime išreikštą gausais magnetinio lauko stiprumą H oro tarpe. Priminsime čia tik, kad magnetinio lauko vienetas 1 gausas yra lygus jėgai, išreikštai dinomis, veikiančiai magnetinio polio vienetą.



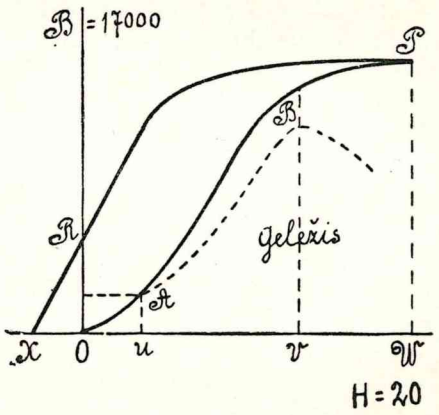
240 pieš.

Magnetinis ratas gali būti sudarytas iš įvairių dalių su įvairiais skerspjūviais ir magnetiniais pralaidumais. Paimsime pavyzdžiui elektromagnetą, sudarytą iš dviejų sijų l_2, kurios sujungtos apačioje jungu l_1 (žiūr. 240 pieš.). Ant sijų galų randasi vadinamos polinės galūnės l_3. Visos tos dalys, sakysime, iš įvairių rūšių geležies, kurių magnetinis pralaidumas iš eilės yra lygus μ_1, μ_2 ir μ_3. Tegu šitų dalių skerspjūvių plotai iš eilės bus S_1, S_2 ir S_3 ir, pagaliau, tegu oro tarpas tarp polinių galūnių bus l_4. Ši yra dažniausiai vartojama elektromagneto forma. Geležinės dalys čia sudaro elektromagneto branduolį, arba šerdį. Jungo magnetinė varža čia bus: $\frac{l_1}{\mu_1 S_1}$, magnetinė varža abiejų vertikalinių šakų bus: $\frac{2l_2}{\mu_2 S_2}$, magnetinė varža abiejų polių galūnių bus: $\frac{2l_3}{\mu_3 S_3}$ ir, pagaliau, magnetinė varža oro tarpo bus: $\frac{l_4}{S_4}$. Taigi, visa magnetinė varža šituo atveju bus: $\frac{l_1}{\mu_1 S_1} + \frac{2l_2}{\mu_2 S_2} + \frac{2l_3}{\mu_3 S_3} + \frac{l_4}{S_4}$. Punktyru nupieštos linijos rodo čia eigą magnetinių jėgų linijų arba magnetinį ratą. Žinodami visą vielos vingių skaičių per abidvi vertikalines šakas ir srovę, mes apskaitysime, kaip anksčiau parodyta, magneto motorinę jėgą, ir žinodami visą magnetinę varžą surasime magnetinį sriautą. Padaliję šitą sriautą į oro protarpio skerspjūvio plotą, gausime magnetinio lauko stiprumą H ore tarp elektromagneto polių. Mes vėliau pamatysime, kad tokie apskaitymai turi reikšmės darant įvairių apskaitymų dinamo mašinoms.

Pažiūrėsime dabar, kaip pareina įvairių rūšių geležies magnetinė indukcija B (arba magnetinimo intensingumas J) nuo magnetinamosios jėgos H arba nuo stiprumo H magnetinio lauko, kuriuo sudaroma indukcija. Paimsime minkštos geležies laibą ir ilgą stiebą ir įkišime jį į ilgą solenoidą. Leidžiant per solenoidą srovę geležies stiebas bus įmagnetintas. Veikdami stiebo galu magnetometrą (žiūr. 1 §) iš magnetometro adatos atsilenkimo mes surasime magnetinimo intensingumą J, ir žinodami, kad magnetinė indukcija $B = H + 4\pi J$, galėsime apskaityti B (magnetinę indukciją). Srovę i solenoide mes galime didinti arba mažinti sauvališkai, o žinodami srovę i ir vingių skaičių n per 1 cm. solenoido ilgio mes apskaitysime magnetinamąją jėgą $H = 4\pi ni$

(ilgam solenoiduí, žiūr. 12 §). Atidėdami ant abscisos magnetinantį lauką H gausais, o ordinatomis magnetinę indukciją B irgi gausais, mes gausime magnetinimo kreivą liniją, kitaip vadinamą BH — liniją, būtent, liniją OABP, kurią atvaizduoja 241 piešinys. Šita kreiva linija aiškiai susideda iš trijų dalių. Pirma dalis OA yra tiesi linija. Vadinasi, šitoje dalyje, veikiant silpnoms srovėms mes turime tiesioginio proporcingumo santykius tarp magnetinamojo lauko H ir magnetinės indukcijos. Taigi, santykis $\frac{B}{H} = \mu = \frac{AU}{OU} = \text{const}$. Vadinasi, šitoje srityje minkštos geležies magnetinis pralaidumas μ yra pastovus dydis. Pertraukus srovę šitoje srityje minkšta geležis tuojau nustoja magnetizmo.

Antrą kreivosios dalį sudaro linija AB· Šita dalis stačiai kįla augštyn, pamaži augant magnetinamajam laukui H. Santykis $\frac{B}{H} = \mu$ čionai auga, nes $\frac{AU}{OU} < \frac{BV}{OV}$. Vadinasi, magnetinis pralaidumas minkštos geležies šitoje srityje nėra pastovus dydis ir smarkiai auga stiprėjant srovei. Trečią kreivosios dalį sudaro linija BP, kuri sudaro vis mažesnį, ir mažesnį kampą su abscisų linija ir pagaliau darosi gangreit lygiagretė abscisų linijai. Taigi šitoje srityje $\frac{B}{H} = \mu$ mažėja, nes $\frac{BV}{OV} > \frac{PV}{OV}$ ir virsta vienetu, kada dalis kreivosios BP pasidaro lygiagretė abscisos linijai. Mes tada sakome, kad geležis pasidaro soti magnetizmu, nes jos pralaidumas tada nebesiskiria nuo oro pralaidumo. Tas atsitinka veikiant stiprioms srovėms, kitaip sakant, kada veikia didelės magnetinamosios jėgos H. Tam pačiam 241 piešiny punktyru nupiešta magnetinio pralaidumo kreivoji. Šita kreivoji turi nuolatinę dalį ligi užlenkimo A. Paskui ji kįla augštyn gangreit taip smarkiai, kaip magnetinimo kreivoji ligi užlenkimo B ir nuo šito užlenkimo smarkiai krinta žemyn. Magnetinio įspūdingumo k kreivoji atrodo visiškai taip, kaip ir magnetinio pralaidumo kreivoji. Tarp šitų dydžių veikia jau žinoma mums lygtis $\mu = 1 + 4\pi k$. Taigi, kad gautume iš pralaidumo kreivosios įspūdingumo kreivąją, turime visas ordinatas pralaidumo kreivosios padalyti į 4π ir, be to, visą kreivąją pavaryti žemyn per vienetą.

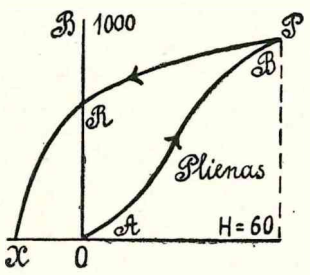


241 pieš.

Pasiekę ant kreivosios OABP tašką P imsime pamaži mažinti magnetinamąją jėgą H. Mes konstatuosime, kad tai pačiai magnetinančiai jėgai H (toms pačioms abscisoms) atatinka didesnės indukcijos B, mažinant magnetinamąją jėgą H. Kada magnetinamoji jėga H pasidarys lygi nuliui, magnetinė indukcija B nebus lygi O, o bus lygi OR, ir mums reikės pakeisti srovės kryptis, veikti neigiamą magnetinamąją jėgą H, kad visiškai demagnetintume geležį. Reiks paveikti neigiamą magnetinamąją jėgą H=OX, kad magnetinė indukcija B pasidarytų ligi nuliui (žiūr. 241 pieš.). Taigi, pradėdami nuo taško P ir mažindami (laipsniais) magnetinamąją jėgą H mes gausime demagnetinimo kreivąją PRX, kurios ordinatos aplamai bus didesnės kaip ordinatos magnetinimo kreivosios PBAO, imant ordinatas tomis pačiomis abscisomis. Konkrečiai tai reiškia, kad mažinant magnetinamąją jėgą H, magnetinė indukcija B mažėja ne tam pačiam santyky kaip ji augo magnetinant arba laipsniais didinant H. Tai reiškia, kad demagnetinant mes visą laiką turėsime magnetizmo likučius geležyje.

242 piešinys atvaizduoja magnetinimo ir demagnetinimo kreivąsias kietam plienui. Visų pirma skirtumas reiškiasi tuo, kad plieno magnetinimo kreivoji kįla augštyn lėčiau, kaip geležies magnetinimo kreivoji, ir plienui reikalingos labai stiprios srovės, gangreit praktiškai neįvykdomos, kad plienas pasidarytų sotus magnetizmu. Bet šiaip-

jau magnetinimo kreivoji OABP yra panaši į minkštos geležies magnetinimo kreivąją. Vadinasi, ir pralaidumo kreivoji yra panaši, t. y. plieno magnetinis pralaidumas silpnoms srovėms yra gangreit pastovus dydis. Stiprėjant srovei tas pralaidumas auga ir paskui ima mažėti. Bet plieno demagnetinimo kreivoji PRX eina žymiai toliau nuo magnetinimo kreivosios kaip geležyje. Vadinasi, plieno demagnetinimo kreivosios ordinatos yra žymiai didesnės, kaip magnetinimo kreivosios ordinatos, imant tas pačias abscisas. Vadinasi, kad demagnetinant plieną magnetizmo likučiai yra žymiai didesni kaip demagnetinant geležį. Kada demagnetinant H darosi lygus nuliui, tai magnetinė indukcija B yra lygi OR. Vadinasi, OR yra matas užsilikusio magnetizmo. Taigi, šitas dydis OR vadinasi medžiagos retentyviškumas (nuo žodžio „retentivitas"—sulaikymas). Šitas retentyviškumas labai dažnai geležiai būna didesnis kaip iplenui. Magnetinamoji jėga H = OX reikalinga tam, kad būtų panaikinti magnetizmo likučiai, nes tada B = O, ir, vadinasi, magnetizmas išnyksta. Taigi, šita jėga vadinasi koercijos jėga. Ji visuomet yra žymiai didesnė plienui kaip geležiai.



242 pieš.

Forma demagnetinimo kreivųjų, kurias atvaizduoja 241 ir 242 pieš., pareina nuo tos vietos magnetinimo kreivosios, nuo kurios prasideda demagnetinimas, kitaip sakant, nuo šito pareina ir magnetizmo likučiai.

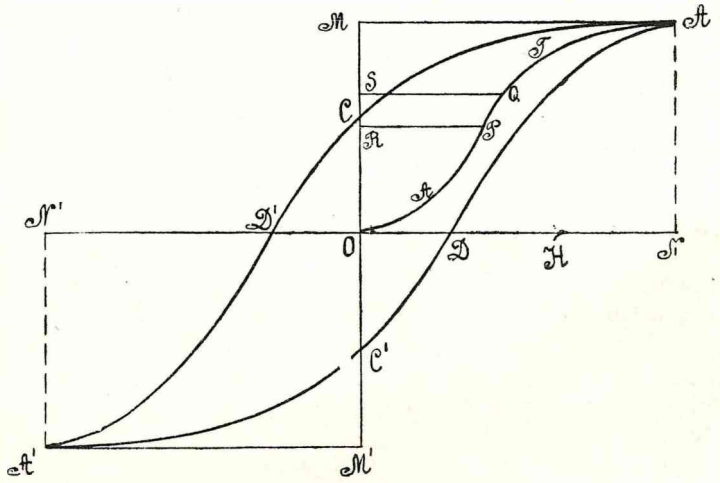
Ferromagnetinių metalų, kaip įvairios rūšys geležies ir plieno, kobaltas ir nikelis, magnetinis pralaidumas ir, aplamai, magnetinės ypatybės pareina nuo temperatūros. Hopkinsonas konstatavo, kad kai kurios geležies rūšys įgyja maksimum pralaidumo prie temperatūros apie 775° C. Vadinasi, prie šitos temperaturos kai kurios geležies rūšys ypatingai lengvai įmagnetinamos. Bet visos geležies rūšys prie temperatūros apie 800° C., t. y. įkaitintos ligi violitinės raudonos spalvos, visiškai nustoja magnetizmo. Vėsinant geležis vėl įmagnetėja. Kaip jau 1 § pasakyta, galima demagnetinti kai kurios geležies rūšys įkaitinus ligi violetinės raudonos spalvos. Bet vėstant geležis pereis per maksimalio pralaidumo temperatūrą ir todel vėl taps magnetu žemės magnetizmo įtakoje. Kad to neatsitiktų, reikia padėti geležis, vėsinant ją, kryptimi iš rytų į vakarus, vadinasi, skersai žemės magnetinio lauko.

Temperatūra, prie kurios ferromagnetiniai metalai nustoja visiškai savo magnetizmo, vadinasi kritine temperatūra. Ji nevienoda įvairiems metalams, bet vidutiniškai geležies metalams ji yra apie 780°. Bet kobaltui kritinė temperatūra yra lygi 110°, o nikeliui 320° C. Įdomų reiškinį parodo nikelio plienas, vartojamas šarvuotiems garlaiviams. Tasai plienas prie temperatūros 600° C visiškai nustoja magnetizmo ir atvėsęs nebegali būti įmagnetintas. Reikia jis atšaldyti ligi labai žemos temperatūros, kad jo magnetinės ypatybės atsistatytų.

Kad magnetinant geležies metalus vyksta kažkokios molekulinės struktūros atmainos arba molekulų persigrupavimas, rodo medžiagos tūrio kitimai ir šilimos efektai, surišti su magnetinimu. Minkštos geležies viela, įkaitinta ligi raudonos spalvos ir paskui atvėsinta, darosi kiek ilgesnė kaip buvo iš pradžios. Kietas plienas, įkaitintas ligi skaidriai raudonos spalvos ir paskui vėsinamas, pasiekęs tam tikrą temperatūrą ima savaime kaisti iš naujo ir žeria daug skaidresne šviesa, kaip pradžioj. Hopkinsonas konstatavo, kad vėsinant tokį plieną, atsiekus temperatūrą 680°, ta temperatūra savaime kįla iš naujo ligi 712°. Hopkinsonas pavadino šitą fenomeną geležies „rekalescencija". Be to, Hopkinsono, Bidwell'io ir kitų konstantuota geležies pailgėjimas magnetinant ir susitraukimas demagnetinant. Šitie ilgio svyravimai sudaro nuo 2.10 - ^{6} ligi 7.10 - ^{6} dalių pirmykščio ilgio. Minkštos geležies tūris magnetiniam lauke 1000 gausų didėja per 1.10 - ^{6} pirmykščio geležies tūrio.

Tegu linija OAPQA bus magnetinimo kreivoji geležies metalo, paėmus magnetinimui geležį be jokių magnetizmo likučių (žiūr. 243 pieš.) Pasiekus magnetinę būklę A (viršui kreivosios) imsime mažinti magnetinį lauką H nuo ON ligi O, kitaip sakant,

demagnetinsime geležį. Mes tada gausime demagnetinimo kreivąją ACD'. Kada magnetinis laukas bus lygus nuliui, demagnetinimo kreivoji perkirs ordinatą taške C. Vadinasi, mes turėsime magnetizmo likučius, išreikštus ordinata OC. Kad pašalintume tuos magnetizmo likučius, reikės mums pakeisti magnetinio lauko H kryptį (reikės pakeisti srovės kryptį), t. y. reikės veikti neigiama magnetine jėga H. Pasiekus tai jėgai didumą OD', magnetizmas geležyje bus panaikintas. Didindami toliau neigiamą magnetinį lauką ligi ON' mes gausime kitą magnetinimo kreivosios dalį, būtent D'A', taip kad kreivosios taške A' magnetinė indukcija B bus tokio pat didumo, kaip taške A, bet bus neigiama. Pradedant nuo šito taško A' mažinsime laipsniais neigiamą magnetinį lauką H ligi nulio. Gausime demagnetinimo kreivosios dalį A'C', kuri perkirs ordinatą taške C', kada magnetinis laukas pasidarys lygus nuliui. Vadinasi, šitam taške magnetiniai likučiai bus išreikšti neigiama ordinata C'O, kuri bus lygi (ne visiškai, bet gangreit) teigiamai ordinatai OC. Dabar vėl apgręšime magnetinio lauko kryptį ir didinsime vėl šitą magnetinį lauką. Einant taip, magnetinė indukcija vėl pasidarys lygi nuliui, t. y. vėl išnyks magnetizmo likučiai, kada magnetinis laukas pasidarys lygus OD = OD'. Didindami teigiamą magnetinį lauką toliau ligi ON mes vėl grįšime į magnetinę būklę A. Vadinasi, vėl magnetinė indukcija bus lygi NA, kaip buvo pradėjus demagnetinimą. Tiksliai kalbant, mes grįšime į tašką, kuris bus truputį žemiau taško A. Taigi mes čia atlikome vadinamą magnetinimo ciklą ir gavome ypatingos formos kreivą liniją kilpos pavidalu. Atlikdami tokį magnetinimo ciklą mes pastebėsime geležies temperatūros pakilimą, vadinasi, suteikiant geležiai energiją arba atliekant geležies atžvilgiu darbą, kuris yra reikalingas geležiai įmagnetinti, dalis to darbo virsta magnetine energija, o antra dalis virsta šilima ir kaipo toki išsklaidoma. Mes tuoj pamatysime, kad šita išsklaidyta energija šilimos pavidalu, atliekant magnetinimo ciklą, yra proporcinga kilpos plotui (žiūr. 243 pieš.). Be to, šita kilpa padeda mums kiekvienam magnetinimo etapui nustatyti magnetizmo likučius, kurie sudaro tai, ką mes vadiname permanentiniu geležies arba plieno magnetizmu. Taigi, šita kilpa reiškia magnetinės būklės tendenciją išsilaikyti. Ewingas, kuris ypatingai daug prisidėjo prie ištyrimo ir išaiškinimo ferromagnetinių metalų magnetinių ypatybių, pavadino šitą magnetinės būklės tendenciją išsilaikyti „magnetinis histerezis“, o 243 piešinio kilpą pavadino „histerezio kilpa“.

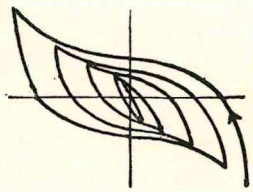


243 pieš.

Kaip jau pasakyta, atliekant magnetinimo ciklą mes ne visiškai grįžtame į pirmykštę būklę A, bet pasiekiame būklę kiek žemiau A. Bet, atkartoję tą patį magnetinimo ciklą daug sykių, sakysime, 100 sykių arba ir 200 sykių, mes pagaliau gausime visiškai tolydinę uždarytą kilpą, kaip atvaizduota 243 piešiniu, t. y. visiškai grįšime į tą magnetinę būklę, kurią pradėjome. Iš 243 piešinio ir iš viso to, kas čia pasakyta apie magnetinimo ciklą, aišku, kad apatinė kilpos dalis yra pilnas atkartojimas viršutinės dalies kilpos.

Atliekant magnetinimo ciklą reikia pradėti nuo geležies be jokių magnetizmo likučių. Iš tikrųjų del žemės magnetizmo veikimo ir del kitų priežasčių geležis visuomet turi šiokių ar tokių magnetizmo likučių. Vadinasi, prieš pradedant magnetinimo

ciklą reikia geležis visiškai demagnetinti. Tai daroma įkišus geležį į solenoidą, leidžiant per tą solenoidą kintamąją srovę ir laipsniais su pagalba reostato silpninant šitą srovę ligi 0. Arba, jeigu mes turime nuolatinę srovę solenoide, tai reikia laipsniais reostatu silpninti šita nuolatinė srovė ir tuo pačiu laiku greitai komutuoti su pagalba komutatoriaus šita srovė, t. y. dažnai keisti tos nuolatinės srovės kryptis. Aišku, kad taip darydami mes atliekame visą eilę megnetinimo ciklų ir, jeigu tuos visus ciklus išreikštume atatinkamomis histerezio kilpomis, gautume visą eilę kilpų nuolat mažėjančio ploto ir pagaliau pasiektume kilpą ploto 0, kaip rodo 244 piešinys. Tokiu tik būdu galime visiškai demagnetinti geležį ir suteikti tai geležiai vadinamą „ciklinę būklę", kuria tik galime pradėti tikrą magnetinimo ciklą. Iš 241, 242 ir 243 figūrų aišku, kodel negalima panaikinti visiškai magnetizmo likučių, paveikus, sakysime — magnetizmu OD', kuriam atatinka magnetinė indukcija B = 0 (žiūr. 243 piеš.). Mat, dalis kreivosios CD' visuomet beveik tiesiog krinta žemyn ir todel mažiausis lauko perteklius per OD' duos gan žymių magnetizmo likučių. Turint šitą galvoj demagnetinimas yra atliekamas taip, kaip augščiau pasakyta ir kaip jį grafiškai atvaizduoja 244 piešinys.



244 piеš.

Užuot leidus per solenoidą kintamąją srovę ir po truputį vis mažinus šitą srovę, galima demagnetinti geležis sukant pakankamai greitai geležies gabalą magnetiniam lauke ir tuo pačiu laiku ištraukiant geležies gabalą iš šito magnetinio lauko. Labai dažnai stovint arti nuo dinamo mašinos armatūros įsimagnetina kišeninis laikrodis ir ima arba vėluotis arba skubintis. Paprastas ir tikras būdas demagnetinti kišeniniam laikrodžiui yra tas, kad laikrodis priartinamas prie dinamo mašinos elektromagnetų ir, greitai jį sukant, vis tolinamas nuo dinamo mašinos elektromagnetų.

Subalansuosime darbar energiją, suteikiamą geležiai magnetinant ją, ir įrodysime, kad išsklaidyta šilimos pavidalu energija, atliekant magnetinį ciklą, gali būti išreikšta histerezio kilpos plotu. Bet prieš tai nustatysime magnetinės energijos kiekį 1 cm.^{3} įmagnetinto kūno tokiomis sąlygomis, kada magnetinis pralaidumas yra pastovus dydis (kada μ = const.). Pasinaudosime tam tikslui 238 piešiniu, t. y. geležies žiedu, apsuptu solenoidu Tegu tam geležies žiede bus išpjautas labai siauras tarpas. Tad ant geležies žiedo galų mes turėsime šiaurės magnetinį polį ir pietų magnetinį polį, kaip rodo 238 piešinys. Jeigu išpjautas tarpas labai siauras, tai jis neturės jokios įtakos geležies magnetinimui, vadinasi, nepakeis geležies magnetinės indukcijos. Taigi, geležies indukcija bus tada lygi B ir tą pačią indukciją mes turėsime siaurame oro tarpe. Tą pačią indukciją B oro tarpe mes gausime suteikę žiedo galams N ir S polaringumus paviršiaus tankumo $\pm \frac{B}{4\pi}$ arba skaitant visą polaringumą $\pm \frac{BS}{4\pi}$. Čia S reiškia geležies žiedo skerspjūvio plotą. Pažymėsime magnetizmo kiekį ant žiedo galų N ir S ženklu $\pm$ m. Tad mes turime $\pm 4\pi m = BS$. Iš to: $\pm m = \frac{BS}{4\pi}$ arba $\pm \frac{m}{S}$ (polio tankumas) $= \pm \frac{B}{4\pi}$.

Atkreipsime šia proga dėmesį į tai, kad magnetinis intensingumas J neduoda šito polaringumo, nes J pareina nuo pertekliaus jėgų linijų per H jėgų linijų magnetinamojo lauko, įkišus į tą magnetinantį lauką geležį. Tuo tarpu polaringumas pareina nuo viso jėgų linijų skaičiaus, kada magnetiniam lauke randasi geležis, t. y. pareina nuo $B = \mu H = H\ (1 + 4\pi k) = H + 4\pi J$. Taigi, apskaitant magnetinę energiją geležyje reikia turėti galvoj ne geležies magnetinimo intensingumas J, bet visa magnetinė indukcija B.

Magnetindami geležį mes veikiame išorine magnetinamąja jėga H, kuri, priversdama molekulinius magnetus išsirikiuoti, sudaro tam tikrą „magnetinį įtempimą" geležyje ir tokiu būdu didina geležies potencinę energiją. Taigi mes čia turime analogiją su išoriniu tempimu elastingų kūnų ir su tų kūnų įtempimu. Išorinis tempimas (arba spaudimas) atlieka tam tikrą darbą sudarant tam tikrą išvidinį elastingo kūno įtempimą. Taigi, išorinį magnetinį lauką galime palyginti su tempimu, o jo sudarytą magnetinę indukciją — su įtempimu.

Turėdami visa tai galvoj padidinsime geležies žiedo indukciją labai mažu kiekiu dB. Vadinasi, mes perskirsime kiekius $\frac{SdB}{4\pi}$ šiaurės ir pietų magnetizmo. Taigi, perskyrus reikės nuvaryti pietų magnetizmo kiekis $\frac{SdB}{4\pi}$ nuo galo žiedo N ligi galo S per visą žiedo ilgį prieš magnetinančią jėgą H, kuri veikia kryptimi, kaip rodo iešma 238 piešinio. Pažymėsime geležies žiedo ilgį raide l. Tad, kad būtų padidinta magnetinė indukcija geležies žiedo labai mažu kiekiu dB, reikės atlikti darbas $Hl\frac{SdB}{4\pi}$. Taigi, visas darbas, kuris reikės atlikti, kad būtų suteikta geležiai magnetinė indukcija B, bus lygus:

$$\int_0^H Hl\frac{SdB}{4\pi} = \frac{lS}{4\pi}\int_0^H HdB.$$

Bet kada magnetinis pralaidumas μ yra pastovus dydis, tada $dB = \mu dH$ $\left(\text{nes } B = \mu H\right)$. Taigi, darbo integralas atrodys taip:

$$\frac{lS}{4\pi}\int_0^H \mu HdH = lS\frac{\mu H^2}{8\pi}$$

Kadangi $lS = v =$ geležies tūris, tai atliktas darbas magnetinant geležį skaitant 1-am cm^3. geležies arba 1 cm^3. įmagnetinto kūno, arba magnetinė energija yra lygi $\frac{\mu H^2}{8\pi} = \frac{B^2}{8\pi\mu}$. Šita formula imagnetinto kūno energijos visiškai yra panaši į dielektriko energiją, skaitant 1 cm^3. tarp užtaisytų kondensatoriaus plokštelių, kuri yra lygi $\frac{KF^2}{8\pi}$ (žiūr. 7 §). Čia F reiškia elektrostatinį lauką (arba jo stiprumą), o K reiškia dielektrinę konstantą.

Apskaitysime dabar energiją, suteiktą geležiai atliekant magnetinimo ciklą, kada magnetinis pralaidumas μ kinta. Paimsime ant magnetinimo kreivosios labai mažą atkarpą PQ (žiūr. 243 pieš.). Šita atkarpa sudaro labai mažą magnetinimo pakėlimą, kuris atatinka labai mažam magnetinės indukcijos padidėjimui dB arba, kaip jau augščiau įrodyta, polaringumo padidėjimui $\frac{dB}{4\pi}$. Tokiam padidėjimui reikia atlikti darbas $\frac{HdB}{4\pi}$ skaitant 1 cm^3. medžiagos (nes čia mes kalbame ne apie viso polaringumo padidėjimą, bet apie polaringumo tankumo padidėjimą). Bet $H = RP$, o $dB = RS$ (žiūr. 243 pieš.). Taigi $\frac{HdB}{4\pi} = \frac{PR.RS}{4\pi} = \frac{1}{4\pi} \times$ plotas ruožo PS. Kadangi visa magnetinimo kreivoji OPQA galima padalyti į visą eilę labai mažų atkarpų PQ ir kiekvienai iš tų atkarpų atatinka labai mažas ruožas, kurio plotas yra proporcingas suteiktai magnetinimo energijai arba atliktam magnetinant darbui, tad aišku, kad visas atliktas darbas magnetinant bus lygus $\int_0^{ON} \frac{HdB}{4\pi} = \frac{1}{4\pi}\times$ į sumą plotų visų mažų ruožų PS. Bet suma plotų visų mažų ruožų PS bus lygi plotui OPAMO. Taigi integruodami $\frac{HdB}{4\pi}$ ribose nuo $H = O$ ligi $H = ON$ mes gausime:

$$\int_0^{ON} \frac{HdB}{4\pi} = \frac{1}{4\pi}\times \text{ plotas OPAMO.}$$

Pasiekę būklę A ant magnetinimo kreivosios mes mažiname magnetinimo lauką H nuo ON ligi nulio atatinkamai mažėjant magnetinei indukcijai B. Taigi, einant ant kreivosios nuo A ligi C dB turės — ženklą ir atliktą darbą reiks irgi paimti su ženklu —. Tas darbas bus lygus:

$$-\int_{O}^{ON} \frac{HdB}{4\pi} = -\frac{1}{4\pi} \times \text{plotas CAMC.}$$

Todel darbas, atliktas didinant magnetinimo lauką H nuo O ligi ON ir paskui mažinant jį nuo ON ligi O bus lygus:

$$\frac{1}{4\pi}\left(\text{plotas OPAMO} - \text{plotas CAMC}\right) = \frac{1}{4\pi} \times \text{plotas OPACO.}$$

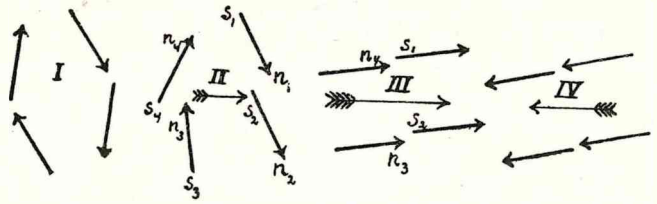
Toliau mes didiname neigiamą H nuo O ligi OD' mažėjant magnetinei indukcijai B. Taigi, čia ir H ir dB turi neigiamą ženklą. Vadinasi, atliktas darbas $\frac{HdB}{4\pi}$ ant labai mažos atkarpos kreivosios CD' turi teigiamą ženklą ir visas atliktas darbas ant demagnetinimo kreivosios atkarpos CD' yra lygus $\frac{1}{4\pi} \times$ plotas OCD'O. Taigi, visas atliktas darbas magnetinant išilgai kreivosios OPQA ir demagnetinant išilgai kreivosios ACD' $= \frac{1}{4\pi}$ (plotas OPACO + plotas OCD'O) $= \frac{1}{4\pi} \times$ plotas OPACD'O.

Kaip jau augščiau pasakyta, atliekant daug magnetinimo ciklų, sakysime, keletą šimtų, ir kiekvienam ciklui imant H tarp + ON ir — ON paskutiniai magnetinimo ciklai bus išreikšti kreiva linija ACD'A'C'DA kilpos pavidalu. Tai bus histerezio kilpa (žiūr. 243 pieš.). Šita kilpa charakterizuojasi tuo, kad ordinatos ir abscisos atitinkamų taškų A ir A', C ir C', D' ir D ir, aplamai, visų atatinkamų taškų bus tos pačios. Iš to, kas augščiau pasakyta apie magnetinimo darbą, pasirodo, kad padarytas darbas, atliekant magnetinimo ciklą, kitaip sakant, histerizio energija bus lygi $\frac{1}{4\pi} \times$ plotas histerezio kilpos. Šita energija, kaip jau mes žinome, pasireikš geležyje šilima ir bus išsklaidyta. Todel tas bus energijos nuostolis magnetinės energijos atžvilgiu. Šitą energijos nuostolį galime apskaityti, atlikę magnetinimo ciklą, nupiešę histerezio kilpą ir apskaitę tos kilpos plotą.

Taigi, histerezis veikia nelyginant kaip trynimas tarp kietų paviršių, kuris reiškia energijos nuostolį, nes veikiant trynimui dalis energijos virsta šilima ir kaipo tokia išsklaidoma. Su šituo energijos nuostoliu tenka skaitytis dinamo mašinose ir transformatoriuose, kaip mes paskum pamatysime. Pavyzdžiui, kintamosios srovės dinamo mašinose (alternatoriuose) histerezis absorbuoja apie 10 arklių jėgų energijos, skaitant 1-ai tonai minkštos geležies, o turint plieną ta energijos absorbcija bent 10 sykių didesnė.

1 § mes trumpai išdėstėme Ampero-Weberio magnetizmo hipotezę. Einant šita hipoteze visi ferromagnetiniai metalai susideda iš elementarinių arba molekulinių magnetų. Paprastoje neįmagnetintoje būklėje tie elementariniai magnetai orientuoti visaip. Jie sudaro grupes, kuriose polarinės jėgos neutralizuotos, taip kad neįmagnetintoje būklėje jokio išorinio magnetinio veikimo nėra. Šita hipotezė nieko nesako apie molekulinių arba elementarinių magnetų magnetizmo priežastį. Amperas manė, kad į kiekvieną molekulą galima žiūrėti kaipo į elementarinį solenoidą, kuriame visą laiką cirkuliuoja srovė. Bet neaiškus šitos srovės išteklius. Mes žinome, kad nustojus veikti silpnoms magnetinamosioms jėgoms, išnyksta ir megnetizmo likučiai, kitaip sakant, geležyje ir kituose ferromagnetiniuose metaluose veikia ypatingos atstatymo jėgos, kurios iš vienos pusės priešinasi magnetinimui, t. y. pasukimui molekulų į magnetinės rikiuotės būklę, o iš antros pusės atstato paprastą nemagnetinę būklę, nustojus veikti

magnetinamosioms jėgoms, ypač kol tos jėgos silpnos. Su šitomis jėgomis surišta ir ta tendencija sulaikyti magnetizmui, kurią mes pavadinom histereziu. Ampero-Weberio hipotezė palieka šitas atstatymo jėgas ir histerezį neišaiškintais. Ewingas papildė šitą Ampero-Weberio hipotezę ta prasme, kad jis parodė, kad tarpusavio magnetinio veikimo elementarinių magnetų pakanka, kad būtų išaiškintos atstatymo jėgos ir histerezis. Jis padirbo magneto modelį, paėmęs daugybę mažučių magnetukų ir užmovęs juos ant adatų, įsmeigtų į lentą. Šituo magneto modeliu jis įrodė, kad prie tam tikros orientacijos mažučių magnetų grupėmis modelis jokio išorinio magnetinio lauko neduoda. Paskui jis atliko magnetinimo ir demagnetinimo bandymus savo modeliu ir gavo histerezio kilpą. Pasinaudosime 245 piešiniu, norėdami trumpai išdėstyti Ewingo hipotezę. Paprastoje arba nemagnetinėje būklėje elementariniai magnetai orientuoti visaip, sudarydami uždarytas figūras tarpusavės traukos



245 pieš.

įtakoje, taip kad visur priešingi poliai neutralizuoja vienas antrą. 245 piešinio I figūra rodo tokią uždarytą sistemą iš keturių elementarinių magnetų. Šita sistema nereiškia jokio magnetinio efekto išorėj. Visi elementariniai magnetai paprastoje būklėje sudaro tokias uždarytas sistemas iš 4 arba ir iš daugiau elementarinių magnetų.

Veikiant silpnu magnetinamuoju lauku kryptimi, parodyta iešma II, mažučiai Ewingo magnetai arba elementariniai magnetai truputį atsilenkia iš jų paprastos būklės kryptimi magnetinio lauko, kaip rodo 245 piešinys. Atsilenkimas II konfigūracija elementarinių magnetų iš jų paprastos būklės proporcingas čionai magnetinimo laukui. Nustojus jam veikti, elementariniai magnetai grįžta į jų paprastą būklę, kurią atvaizduoja I konfigūracija. Dalis O A kreivųjų 241 ir 242 piešinių atatinka veikimą silpno magnetinio lauko.

Pakankamai sustiprinus magnetinimo lauką, galai $n_1 s_2$ ir $n_3 s_4$ magnetukų arba elementarinių magnetų nutolsta vienas nuo kito tiek, kad elementariniai magnetai išsijudina, ima svyruoti ir nusistato gangreit išilgai magnetinimo lauko. Konfigūracija III atvaizduoja tokią būklę. Čia magnetinimo lauko kryptis parodyta iešma III ir keturi magnetukai orientuoti savo ašimis gangreit lygiagrečiai magnetinimo laukui. Tai atatinka daliai A K magnetinimo kreivųjų 241 ir 242 piešinių. Šita konfigūracija reiškia jau žymų išorinį magnetinį efektą, nes čionai iš vienos pusės mes turime šiaurės polius, pažymėtus iešmutėmis, o iš antrosios pietų polius (linijų galai be iešmučių).

Stiprinant toliau magnetinį lauką, galai $s_1 n_4$ ir $s_2 n_3$ dar šiek tiek nutolsta vienas nuo antro ir elementariniai magnetai tempiami magnetinimo lauko dar labiau nusistato lygiagrečiai tam laukui. Mes tada turime sočią medžiagos būklę magnetizmo atžvilgiu, kurią atvaizduoja dalis K S magnetinimo kreivųjų 241 ir 242 piešinių.

Pašalinus magnetinantį lauką, elementariniai magnetai įtakoje jėgų, veikiančių tarp jų polių, pasilieka būklėje, kurią atvaizduoja konfigūracija III. Tai yra būklė permanentiškai įmagnetintos medžiagos arba pastovaus susitvarkymo elementarinių magnetų. Kad būtų pakeista šita pastovi būklė, reikia veikti apgręžtu magnetiniu lauku tam tikro stiprumo. Tad elementariniai magnetai irgi apsisuka, kaip rodo 245 piešinio konfigūracija IV, ir svyruodami pasiekia naują pusiausvyros būklę ašimis išilgai apgręžto lauko, kurio kryptį rodo IV iešma.

Taigi, pasiekus magnetinimo laukui H tam tikrą stiprumą, konfigūracija darosi nepastovi, elementariniai magnetai ima svyruoti, ir, pagaliau, nusistato gangreit lygiagrečiai magnetinimo laukui. Išorinis konfigūracijos magnetinis veikimas smarkiai didėja, ir dar labiau stiprinant magnetinimo lauką pasiekiama soti būklė (žiūr. konfigūracija III). Magnetinis retentyviškumas čia yra ne kas kita, kaip padarinys traukos jėgų, veikiančių tarp polių elementarinių magnetų. Pašalinus magnetinimo lauką H ta

traukos jėga tarp polių neleidžia elementariniams magnetams grįžti į jų paprastą nemagnetinę būklę, kurią atvaizduoja I konfigūracija.

Taip pat minėta traukos jėga tarp polių elementarinių magnetų gerai išaiškina histerezio reiškinius. Reikia atlikti tam tikras darbas, kad galima būtų nustatyti elementariniai magnetai išilgai magnetinimo lauko. Mažinant šitą magnetinimo lauką ir apgręžiant jį pasiekiama kritiška nepastovi būklė, kurioje magnetai sukasi ir smarkiai svyruoja apie jų naują pusiausvyros būklę. Vadinasi, kad dalis atlikto darbo pasireiškia vibracijos energija. O molekulų vibracijos reiškia šilimos plėtotę ir geležies temperatūros pakilimą.

Kaip mes vėliau pamatysime, dinamo mašinose geležies inkaras sukasi nuolatiniam magnetiniam lauke arba transformatoriuose yra įtakoje kintamosios srovės. Taigi ir vienu ir antruoju atveju geležis eina per visą eilę magnetinimo ciklų ir del histerezio temperatūra geležies inkaro arba armatūros dinamo mašinose arba geležies šerdies transformatoriuose žymiai pakįla.

Iš mūsų išdėstytos Ewingo hipotezės Swinburne'as padarė išvadą, kad histerezis visiškai išnyksta tais atvejais, kada magnetinimo laukas yra labai stiprus, taip kad elementariniai magnetai visą laiką pasilieka orientuoti savo ašimis išilgai magnetinimo lauko. Tada neįvyksta elementarinių arba molekulinių magnetų vibracijų ir todel neatsitinka ir pavirtimo magnetinės energijos šilima. Šita Swinburne'o išvada atatinka tikrenybę, nes sukantis geležies inkarui labai stipriame magnetiniame lauke, molekuliniai magnetai sukasi apie jų centrus sekdami inkaro sukimąsi. Todel tokiomis sąlygomis nėra vibracijų, vadinasi, nėra perėjimo magnetinės energijos į vibracijų energiją ir nėra histerezio.

Kad įvyktų grįžimas iš būklės IV arba iš būklės III į paprastą magnetinę būklę I, nepakanka, kaip jau mes matėme, pašalinti magnetinimo lauko. Reikia sukant šitą magnetinimo lauką (sukant magnetą, kuriuo magnetinama) smarkiai sukti elementariniai magnetai. Tada, pašalinus magnetinimo lauką ir palikus elementarinius magnetus, kad vibruotų, jie svyruodami pasiekia paprastą būklę konfigūracijos I. O tas yra augščiau aprašytas metodas demagnetinimo kintamuoju magnetinimo lauku, nuosakiai mažinant to lauko stiprumą.

Pridursime čia tik, kad, einant naujausiomis pažiūromis, permanentinis magnetizmas molekulinių magnetų pareina nuo to, kad jų vidury sukasi tam tikromis orbitomis elektronai (neigiamos elektros atomai). Tai yra Langevin'o teorija. Toksai elektronas, kuris sukasi savo orbita, einant solenoido teorija, yra ekvivalentingas permanentiniam magnetui statmenai elektrono orbitai. Tokiomis sąlygomis magnetinės atmainos molekulinio magneto pareina nuo palinkimo ta ar kita prasme elektrono orbitos ir visiškai neliečia visos molekulos, kaipo tokios, judėjimo.

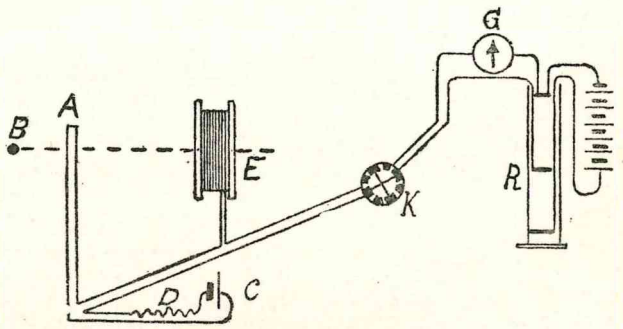
Sąryšy su šita elektronine magnetizmo teorija trumpai paminėsime, kad Kammerlingh - Onnes ir Weissas matavo ferromagnetinių metalų magnetinimą prie skysto vandenilio temperatūros. Prie tokios žemos temperatūros galima sakyti, kad visi ferromagnetiniai metalai yra sotūs magnetizmo atžvilgiu, vadinasi, visos molekulinių magnetų ašys orientuotos lygiagrečiai. Tokiomis sąlygomis minėti tyrinėtojai konstatavo, kad magnetinis momentas, skaitant ant gram - molekulos, visais atvejais yra lygus 1123,5 arba nedidelis kartotinas šito skaičiaus. Šitas dydis žinomas kaip „grammagnetonas". Remdamies tuo Kammerlingh - Onnes ir Weissas paskelbė teoriją, einant kuria kiekvienas atomas ferromagnetinių metalų turi bent 1 elementarinį magnetą nuolatinio momento. Šitas elementarinis magnetas yra tas pats visokiai ferromagnetinei medžiagai. Jis buvo pavadintas „magnetonu". Pagal Perriną gram - molekula susideda iš $68,5 \times 10^{22}$ molekulų. Sutikę, kad kiekviena molekula turi magnetoną momento m, mes gausime tokią lygtį: $68,5.10^{22}$. $m = 1123,5$. Iš šitos lygties bus: $m = 16,4.10^{-22}$ = magnetinis magnetono momentas. Magnetinimas geležies, kobalto, magnetito ir nikelio duoda pagrindo manyti, kad tie metalai turi iš eilės 11, 9, 7, 3 magnetonus, skaitant ant molekulos. Einant šita teorija yra tam tikras magnetizmo minimumas arba, tiksliau kalbant, magnetinio momento minimumas. Šitas minimumas vadinasi „magnetonu". Tai yra kaip ir magnetizmo atomas, dydis visiškai analogingas medžiagos atomui,

elektros atomui, energijos kvantui. Tai rodo, kad magnetinimo ir demagnetinimo procesuose magnetinis momentas medžiagos kinta ne tolydiniu būdu, bet tam tikrais laipsniais, tam tikromis porcijomis, kurios yra lygios magnetonui arba nedideliam sveikam skaičiui magnetonų. Pridursime čia dar, kad einant Bohru magnetonas, arba atomo magnetinis momentas, sočioje būklėje yra bent 5 sykius didesnis kaip Weisso magnetonas (Weisso grammagnetonas 1123,5 gausų, o Bohro grammagnetonas 5550 gausų). Tai yra tam tikra atominė ypatybė, kuri yra vaisius tam tikros atomo struktūros.

Visa tai liečia ferromagnetinius kūnus, kaip geležis, plienas, magnetitas, nikelis ir kobaltas. Šitų kūnų magnetinimas nėra linijinė funkcija magnetinamosios jėgos ir jie charakterizuojasi retentyviškumu ir histereziu. Bet yra visa eilė kūnų žymiai silpnesnėmis magnetinėmis savybėmis. Magnetinimas tuose kūnuose visuomet yra proporcingas magnetinamajai jėgai. Šita kūnų grupė yra vadinama paramagnetiniais kūnais. Curie'as konstatavo, kad esant nuolatinei magnetinamajai jėgai paramagnetinių kūnų magnetinimas yra atvirkščiai proporcingas absoliutinei temperatūrai, kitaip sakant, sandauga iš specifinio magnetinimo koeficiento ir absoliutinės temperatūros yra pastovus dydis (specifiniu magnetinimo koeficientu vadinamas santykis tarp medžiagos magnetinio įspūdingumo ir jos tankumo). Šitas faktas žinomas magnetizmo moksle Curie'o dėsniu. Remiantis šituo dėsniu reikia sakyti, kad ferromagnetiniai kūnai pereina į paramagnetinius augščiau jų kritiškos temperatūros.

Diamagnetinai kūnai skiriasi nuo paramagnetiniu tuo, kad veikiant magnetinei indukcijai susidaro ne priešingos rūšies polis, bet tos pačios rūšies polis. Del magnetinimo diamagnetinių kūnų Curie'as konstatavo, kad išėmus bismutą ir stibį tasai magnetinimas nepareina nuo temperatūros. Kadangi temperatūriniai efektai, einant kinetine šilimos teorija, yra surišti su molekulų atmainomis, kadangi paramagnetinių kūnų magnetinimas pareina nuo temperatūros, tai galima manyti, kad paramagnetizmas yra surištas su molekuline struktūra, o diamagnetizmas su atomine struktūra, kuri visiškai nepareina nuo temperatūros. Taigi, savo esmės atžvilgiu paramagnetizmas ir diamagnetizmas yra tas pats dalykas. Skirtumas tik tas, kad vienu atveju mes turime darbo su molekulomis, o antruoju su atomais.

Akivaizdoje didelės teoriškos ir praktiškos reikšmės magnetinių savybių geležies, kuri yra svarbi sudėtinė dalis dinamo mašinų, duosime čia aprašymą bent vieno metodo santykiams tarp magnetinės indukcijos B ir magnetinamojo lauko H geležies metalams nustatyti. Šito metodo schemą duoda 246 piešinys. Imamas ilgas laibas geležies stiebas arba net ir geležies viela (taip kad diametras sudarytų mažą dalį ilgio). Šita viela padedama solenoide, kuris yra truputį ilgesnis kaip viela. 246 piešiny solenoidas A parodytas schematiškai. Arti nuo vieno galo vielos padėtas magnetometras (tai yra mažutis magnetas arba magnetinė adata, pakabinta ant kvarco siūlo su veidroduku, taip kad galima būtų sekti adatos atsilenkimai žiūronu ir škala, žiūr. 1 §, 17 piešinys). Iš magnetometro adatos atsilenkimų apskaitoma vielos galo magnetinimo intensingumas.



246 pieš.

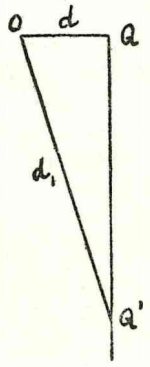
Magnetometras 246 piešiny pažymėtas tašku B. Magnetometro magnetas turi būti padėtas taip, kad jis būtų toje pačioje lygmėje, kaip viršutinis vielos galas A. Ir solenoidas ir viela padėti vertikališkai. Atokumas tarp magnetometro B ir vielos galo A turi būti mažas, taip kad adatos atsilenkimai pareitų gangreit išimtinai nuo viršutinio vielos galo veikimo. Magnetinamasis laukas H sudaromas leidžiant srovę iš batarejos, kuri schematiškai parodyta dešinėj 246 piešinio pusėj, per solenoidą. Didinant arba

mažinant šitą srovę mes keisime magnetinantį lauką H. Skaitant n vingių solenoido 1 cm. ir einant srovei i amperų, kaip jau mes žinome, magnetinamasis laukas bus $H_m = \frac{4\pi ni}{10}$ gausų. Srovė iš batarejos eina per galvanometrą G ir komutatorių K į solenoidą ir iš solenoido per skystą reostatą R atgal į batareją. Šitas skystas reostatas R reikalingas čia tam, kad galima būtų didinti srovė solenoide, pradedant nuo nulio ligi tam tikro dydžio ir mažinti ji nuo šito dydžio ligi nulio, o komutatorius K reikalingas tam, kad galima būtų keisti srovės kryptis.

Skystas reostatas R susideda iš augšto stiklo cilinderio su cinko sulfato tirpalu. Į šitą tirpalą įmerkti trys cinko diskai, kaip rodo 246 piešinys. Vienas batarejos polis prijungtas prie viršutinio cinko disko, o antras su pagalba izoliuotos vielos prie cinko disko ant indo dugno, o viršutinis cinko diskas per galvanometrą ir komutatorių prijungtas prie vieno solenoido galo. Šitų dviejų cinko diskų pozicijos nejudomos. Vidurinis cinko diskas prijungtas viela per komutatorių prie antrojo solenoido galo. Tasai diskas judomas ir jį galime priartinti arba prie viršutinio cinko disko arba prie apatinio cinko disko. Kada vidurinis diskas liečia viršutinį, tai visa srovė nuo batarejos eina per cinko sulfatą, ir solenoide tada nėra jokios srovės. Varant vidurinį cinko diską žemyn, srovė solenoide vis didėja ir pasiekia maksimumą, kada vidurinis cinko diskas palies apatinį diską, kaip tai aišku iš 246 pieš. schemos.

Be solenoido A, schemoje parodytas dar solenoidas E. Per jį eina ta pati srovė, kaip ir per solenoidą A. Šitas solenoidas E nustatomas tokioje padėtyje, kad išėmus vielą iš solenoido A ir einant srovei per solenoidą E ir A nebūtų magnetometro adatos atsilenkimo. Pasiekus tokią padėtį solenoido E, magnetinis solenoido A veikimas magnetometrui bus kompensuotas magnetiniu veikimu solenoido E. Vadinasi, magnetometro adatos atsilenkimai pareis tik nuo geležies vielos magnetinių polių veikimo. Todel šitas solenoidas E vadinasi kompensacijos solenoidas.

Be to, dar reikia eliminuoti vertikalinės komponentos žemės magnetinio lauko veikimas magnetometro adatai, kuri, kaip savaime suprantama, padėta išilgai gulsčios komponentos žemės magnetizmo (magnetinio meridiano plotmėje). Tam tikslui ant solenoido A užmautas antrasai solenoidas, per kurį leidžiama nuolatinė srovė iš akumulatoriaus C. Šitą srovę galime reguliuoti (didinti arba mažinti) reostatu D. Šitos srovės kryptis ir stiprumas nustatomi taip, kad magnetinis laukas antrojo solenoido būtų lygus ir atkreiptas prieš žemės vertikalinį magnetinį lauką.



247 pieš.

Pradedant magnetinimo matavimus reikia visų pirma demagnetinti (išmagnetinti) geležies viela, reikia suteikti jai vadinama „ciklinė būklė". Tai daroma sukant, kiek galima greičiau, komutatorių K (arba dažnai apverčiant paprasto komutatoriaus ožį) ir tuo pačiu laiku keliant vidurinį cinko diską nuo indo dugno ligi pilno kontakto su viršutiniu cinko disku (tokiu būdu srovė i bus sumažinta ligi nulio, pradedant nuo tam tikros maksimalės vertės).

Tegu QQ^1 reiškia laibą geležies stiebą arba geležies vielą stipino r (žiūr. 247 pieš.) ir tegu O reiškia magnetometro padėtį. Pažymėsime atokumus tarp magnetometro O (skaitant nuo magnetometro adatos vidurio) ir polių Q ir Q^1 iš eilės raidėmis d ir d_1. Tegu kampas tarp OQ^1 ir QQ^1 bus φ. Tad polis Q veikia magnetometrą gulsčia kryptimi su jėga $+\frac{m}{d^2}$, jeigu mes polio stiprumą (magnetizmo kiekį ant polio) pažymėsime raide m. Taip pat polis Q^1 veikia magnetometrą su jėga $-\frac{m}{d_1^2}$. Bet, kadangi mes čia turime darbo su atsilenkimais magnetometro adatos tik gulsčia kryptimi, tad reikia paimti čionai polio Q^1 veikimas tik gulsčia komponenta, kuri yra lygi $-\frac{m}{d_1^2}$. sin φ =

$= -\frac{m}{d_1^2}\cdot\frac{d}{d_1}$, nes iš 247 piešinio figūros bus: $\sin\varphi = \frac{d}{d_1}$. Taigi, visa jėga, veikianti gulsčia kryptimi magnetometrą ir pareinanti nuo abiejų vielos polių, bus: $F = \frac{m}{d^2} - \frac{m}{d_1^2}\cdot\frac{d}{d_1} = \frac{m}{d^2}\left[1 - \left(\frac{d}{d_1}\right)^3\right]$.

Pažymėsime magnetinimo intensingumą raide J. Tad $m = \pi r^2 J$ ir $F = \frac{\pi r^2 J}{d^2}\left[1 - \left(\frac{d}{d_1}\right)^3\right]$. Pasiekus magnetometro adatai pusiausvyrą, mes turime tokį santykį tarp gulsčios jėgos F ir žemės gulsčios komponentos H: $\frac{F}{H} = tg\alpha$, jeigu mes magnetometro adatos atsilenkimo kampą pažymėsime raide α (žiūr. 1 §). Tada mes turėsime: $Htg\alpha = \frac{\pi r^2 J}{d^2}\left[1 - \left(\frac{d}{d^1}\right)^3\right]$.

Iš to: $$J = \frac{d^2 H tg\alpha}{\pi r^2\left[1 - \left(\frac{d}{d_1}\right)^3\right]}$$

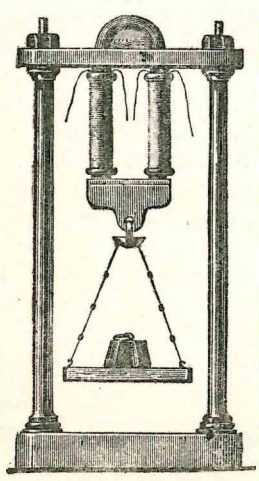
Eidami šita formula iš magnetometro adatos atsilenkimų mes apskaitysime magnetinimo intensingumą J, o iš šito intensingumo, eidami lygtimi $B = H_m + 4\pi J$, apskaitysime magnetinę indukciją B. Tokiu būdu mes gausime dvi priklausomas skaičių eiles: vieną B, antrą $H_m = \frac{4\pi ni}{10}$, ir remdamiesi šitais skaičiais galėsime nupiešti BH kreivąją (magnetinimo kreivąją) arba JH kreivąją ir apskaityti magnetinį pralaidumą μ arba magnetinį įspūdingumą k.

Reikia čia atsiminti, kad H_m nėra čia tikra vertė magnetinamojo lauko, nes geležies vielos poliai sudaro lauką priešinga kryptimi (žiūr. § 1), kuris silpnina magnetinantį lauką. Taigi reikalinga tam tikra pataisa magnetinimo laukui. Kada vielos diametras sudaro tik $^1/_{400}$ dalį vielos ilgio, šita pataisa nedidelė ir gali būti išreikšta tokia formule: $H_t = H_m - 0{,}00045\ J$. Čia H_t reiškia tikrą magnetinamąjį lauką. Be to, reikia turėti dar galvoj, kad vielos poliai nėra sukoncentruoti ant jos galų ir negalima apskaityti polaringumo padalijimo ant vielos galų. Taigi, vertės J šitame metode ne visiškai tikslios. Todel šitas metodas, kuris priklauso Ewingui ir žinomas Ewingo magnetometro metodu, nėra tikslus metodas. Su tikslesniu balistiniu metodu, priklausančiu tam pačiam Ewingui, mes pasipažinsime kitame paragrafe. Bet magnetometro metodas patogus tuo, kad juo galima sekti, kaip pareina magnetinimas nuo vielos įtempimo, nes magnetinant vielą galima ji ištempti arba užsukti ir, be to, šito metodo teorija yra labai paprasta. Ši lentelė duoda Ewingo matavimo rezultatus, atliktus su geležies viela diametro 0,077 ir ilgio 30,5 cm. arba 400 diametru.

Magnetinimo laukas $H = \frac{4\pi ni}{10}$	Magnetinimo intensingumas J	Magnetinė indukcija $B = H + 4\pi J$	Magnetinis pralaidumas $\mu = \frac{B}{H}$
0,0	0	0	—
0,32	3	40	120
0,85	13	170	200
1,38	33	420	310
2,18	93	1170	550
2,80	295	3710	1390
3,50	581	7300	2250
4,21	793	9970	2560

Magnetinimo laukas $H = \frac{4\pi n i}{10}$	Magnetinimo intensingumas J	Magnetinė indukcija $B = H + 4\pi J$	Magnetinis pralaidumas $\mu = \frac{B}{H}$
4,92	926	11640	2590
5,63	1009	12680	2450
6,69	1086	13670	2200
8,46	1155	14510	1830
10,23	1192	14980	1530
12,11	1212	15230	1320
15,61	1238	15570	1030
20,32	1255	15780	800
22,27	1262	15870	730
16,42	1258	—	—
8,46	1245	—	—
4,92	1235	—	—
3,15	1225	—	—
1,38	1205	—	—
0,0	1162	—	—
— 0,41	1135	—	—
— 0,81	1092	—	—
— 1,45	979	—	—
— 2,50	551	—	—
— 2,87	— 40	—	—

Mažėjant magnetiniam laukui ir pasiekus vertę O magnetizmo likučiai nagrinėjamos geležies rūšies sudaro dar 1162 gausu, t. y. 92% maksimum intensingumo, kuris buvo gautas stiprinant magnetinimo srovę. Apgręžus srovę šitie magnetizmo likučiai išnyksta tik tada, kada magnetinimo laukas darosi lygus H = — 2,75 gausai. Tai yra „koercijos jėga“ nagrinėjamos geležies rūšies. Prie šito lauko viela vienok nėra toje demagnetinimo būklėje, nuo kurios buvo pradėtas magnetinimas, nepaisant to, kad prie šito lauko išnyksta išorinis magnetinimo efektas. Reikia žinoti, kad stiprinant apgręžtą srovę magnetinimo kreivoji nekrinta tuo pačiu laipsniu žemyn, kaip ji kilo pradėjus magnetinti nuo nulio. Ta magnetinimo kreivoji krinta dabar daug stačiau. Todel, kaip jau anksčiau paminėta, norint visiškai demagnetinti geležį reikia veikti kintamoji srovė vis silpninant šitą srovę ligi nulio.

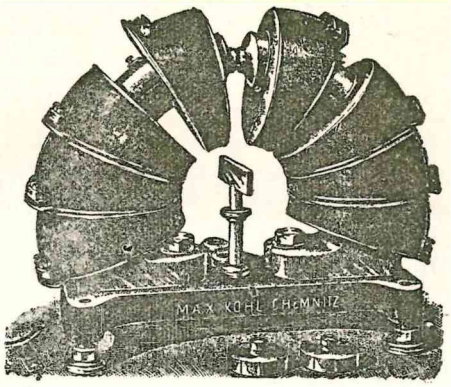


248 pieš.

Solenoidas su minkštos geležies branduoliu arba šerdimi vadinasi elektromagnetas. Elektromagnetai turi didelės praktiškos reikšmės ir jiems suteikiama įvairios formos. 248 ir 249 piešiniai atvaizduoja dvi dažnai vartojamas elektromagnetų formas. 248 piešiny ant geležies šerdies raidės U pavidalu užmautos dvi špulės, apvyniotos dideliu skaičium vingių izoliuotos vielos. Vieni galai tos vielos sujungti, o kiti galai galima prijungti prie batarejos. Leidžiant srovę taip, kad ji eitų per abudu solenoidus, žiūrint iš priekio, iš vidaus išorėj arba adverniškai, vienas iš geležies galų taps stipriu šiaurės poliu, o antras stipriu pietų poliu. Kol srovė nestipri, pertraukus ją išnyksta minkštoje geležyje ir magnetizmas. O pertraukus stiprią srovę pasilieka magnetizmo likučiai, ir parodytas 248 piešiny inkaras pavidalu minkštos geležies plokštelės pasilieka pritrauktas. Taigi, paėmę vietoj geležies branduolį iš plieno,

ir leisdami stiprią srovę, mes tokiu būdu pagaminsime stiprų permanentinį magnetą, t. y. turėsime plieną su magnetiniais likučiais didelio intensingumo. Praktikoje dažnai kalbama apie elektromagneto pakeliamąją jėgą, kuri duoda supratimo apie magneto galią. Tai yra maksimumo svoris, kurį gali pritraukti elektromagnetas pasagos pavidalu. Tiksliau kalbant, tai yra jėga, reikalinga nutraukti inkarui arba armatūrai nuo polių (žiūr. 248 pieš.). Aišku, kad šita pakeliamoji jėga elektromagnetams pareina nuo srovės stiprumo. O permanentiniams magnetams, jeigu jie įmagnetinti ligi sočios būklės, galime išreikšti šitą pakeliamąją jėgą įvairiomis empirinėmis formulomis, kurių labiausiai atatinka tikrenybę toki formula: $P = k.l^2$. Čia P reiškia permanentinio magneto pakeliamąją jėgą, o l jo linijinius išmatavimus, sakysime, jo plotį; k reiškia tam tikrą konstantą (proporcingumo veiksnį). Taigi, turint magnetus tos pačios formos ir tos pačios medžiagos, galima pasakyt, kad jų pakeliamoji jėga yra proporcinga jų skerspjūvio plotui. Bet, kada mes turime darbo su magnetais įvairios formos ir įvairios medžiagos, apskaityti pakeliamajai jėgai labiau tinka Haeckerio formula: $P = a\,m^{2/3}$. Čia m reiškia magneto svorį, o a tam tikrą konstantą, charakteringą tai plieno rūšiai, iš kurios pagamintas magnetas.

249 piešinys atvaizduoja kitą elektromagneto formą, kuri duoda ypatingai stiprių elektromagnetų (ypatingai stiprų magnetinį lauką tarp polių). Čia mes turime dvi šakas iš minkštos geležies lankų pavidalu, apsuptas solenoidais, per kuriuos galima leisti srovė. Abidvi tos šakos sujungtos apačioj skersine iš minkštos geležies. Leidžiant per solenoidus srovę taip, kad žiūrint iš pryšakio ji eitų iš vidaus išorėj arba adverniškai, laisvi minkštos geležies galai taps stipriais priešingais magnetiniais poliais, daug stipresniais kaip permanentiniam magnetui iš plieno. Kada reikia atlikti tie ar kiti bandymai stipriam magnetiniam lauke, tad toksai laukas visuomet gaunamas tarp polių tokio elektromagneto, kurį atvaizduoja 249 piešinys.



249 pieš.

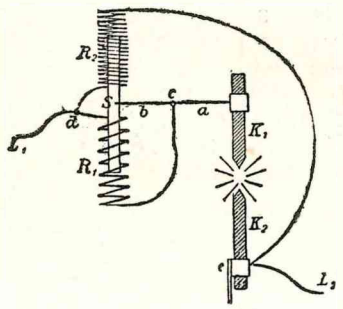
19 §. Elektromagnetizmo pritaikymai. Automatiškai reguliuojama lanko lempa. Elektromagnetinis pertraukėjas. Elektros skambutis. Elektromagnetinis telegrafas ant sausumos ir povandeninis.

Elektromagnetai turi labai platų ir įvairų pritaikymą praktikoje, būtent, automatiško reguliavimo, signalizacijos ir telegrafo aparatuose, kuriuos mes čia trumpai ir paliesime. Be to, elektromagnetai turi didelės reikšmės dinamo mašinose, bet apie tai vėliau kalbėsime.

Iš įvairių automatiškai veikiančių regulatorių, kurie remiasi elektromagnetų veikimu, paliesime čia Voltos lanko automatinį reguliavimą. Mes jau matėme 14 §, kad veikiant Voltos lankui nudega galai abiejų anglių, o ypač teigiamo anglio galas. Todel tarpas tarp tų galų didėja, srovė silpnėja, ir lankas ima leisti vis mažiau ir mažiau šviesos ir pagaliau visiškai užgęsta. Taigi Voltos lankas reikia aprūpinti tokiu prietaisu, kuris pamaži artintų anglių galus vienas prie antro nudegant jiems, taip kad visą laiką tarpas tarp tų galų būtų to paties didumo. Sujungus tokį Voltos lanką su elektromagnetu taip, kad srovė iš eilės eitų per lanką ir elektromagnetą, tasai elektromagnetas, pritraukdamas inkarą, arba armatūrą, stabdo laikrodžio mechanizmą, kuris sujungtas su abiem anglim taip, jog stengiasi priartinti jų galus vieną prie antro. Nudegus anglių galams ir padidėjus tarpui tarp jų Voltos lanko varža padidės, srovė atatinkamai nusilpnės, ir elektromagnetas nebepajėgs pritraukti inkaro. Taigi laikrodžio mechanizmas bus laisvas, ims veikti ir artinti anglių galus vienas prie antro ir artins tol, kol

tarpas pasieks reikiamą didumą, kitaip sakant, kol srovė pasieks tam tikrą stiprumą. Tada elektromagnetas vėl pritrauks inkarą ir sustabdys laikrodžio mechanizmą.

Lanko lempų, aprūpintų tokiu elektromagnetiniu regulatorium, negalima įjungti į tą patį tinklą, nes tada kiekvienos lempos veikimas pareis ne nuo jos varžos, bet nuo sumos varžų visų įjungtų lempų. Vadinasi, aprašytas čia elektromagnetinis regulatorius tinka tik kiekvienai, skyrium imamai lempai, kada jos vartojamos projekcijos aparatuose arba demonstravimo tikslams. Įjungiant iš eilės į tą patį tinklą keletą lempų, jos aprūpinamos elektromagnetiniais regulatoriais be laikrodžio mechanizmo. Schemą tokio regulatoriaus atvaizduoja 250 piešinys. Mes čia turime du angliu, K_1 ir K_2, kurie iš eilės sujungti su batareja ir su solenoidu sulyginti nedidelio skaičiaus storos vielos vingių. Vielos L_1 ir L_2 veda prie batarejos polių. Tegu L_1 prijungta prie + polio. Tad srovė per L_1 patenka į solenoidą R_1 (stora viela), iš to solenoido į anglį K_1, per lanką į anglį K_2 ir per L_2 grįžta į batareją. Viršuj solenoido R_1 iš storos vielos randasi antras solenoidas R_2 iš didelio skaičiaus plonos vielos vingių. Šitas solenoidas R_2 prijungtas prie tinklo magistralių (svarbiųjų laidininkų) šuntu (lygiagrečiai). Vienas galas šito solenoido R_2 prijungtas taške d prie laidininko L_1, o kitas galas taške E prie laidininko L_2. Abudu solenoidai turi bendrą branduolį (šerdį S) iš minkštos geležies. Šita šerdis sujungta su vienu petimi svirties bca, su kurio antru petimi sujungtas anglis K_1. Tegu vielos L_1 ir L_2 bus prijungtos prie batarejos polių. Tada srovė eis per solenoidą R_2, geležies šerdis bus įtraukta į šitą solenoidą, svirties galas b pakils augštyn, o galas a nuslinks žemyn, ir anglis K_1 palies anglį K_2. Vadinasi, tarp abiejų anglių bus sudarytas kontaktas. Bet tada srovė ims eiti ir per solenoidą R_1 ir toliau per abudu angliu. Kadangi solenoido R_1 varža yra žymiai mažesnė kaip solenoido R_2, tai per solenoidą R_1 eis dabar daug stipresnė srovė kaip per solenoidą R_2 ir todel geležies šerdis S bus dabar smarkiau traukiama į solenoidą R_1 kaip į solenoidą R_2. Vadinasi, svirties galas b eis žemyn, galas a kils augštyn ir tarp abiejų anglių pasidarys tam tikras tarpas, kurio didumas pareis nuo srovės padalijimo solenoiduose R_1 ir R_2. Tokiu būdu susidarys Voltos lankas. Nudegant angliams tarpas didės, didės varža ir silpnės srovė solenoide R_1. Kadangi solenoidas R_2 prijungtas šuntu, tai atatinkamai jame stiprės srovė, ir todel geležies šerdis S bus traukiama į solenoidą R_2. Kaipo išdava tarpas tarp anglių K_1 ir K_2 mažės tol, kol vėl bus pasiektas tam tikras srovės padalijimas solenoiduose R_1 ir R_2. Vadinasi, toks regulatorius, uždarius srovę, tuojau sudaro kontaktą tarp abiejų anglių ir perskiria juos. Tokiu būdu susidaro Voltos lankas. Paskui tas regulatorius visą laiką palaiko tam tikrą atokumą tarp anglių galų. Lanko lempa, aprūpinta tokiu elektromagnetiniu regulatorium, vadinasi diferencialinė lempa ir ji veikia visiškai nepriklausomai nuo kitų lempų, įjungtų iš eilės į tą patį tinklą.

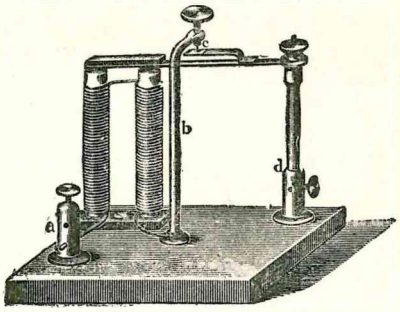


250 pieš.

Dauguma elektromagnetinių automatų remiasi aprašytu čia diferencijos principu, kaip, pavyzdžiui, automatiškas perjungimas ešmų geležinkeliuose.

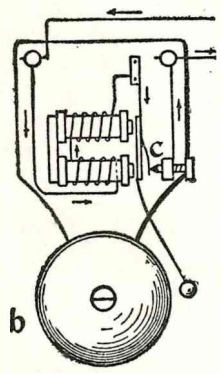
Remiantis pritraukimu inkaro elektromagnetu galima sudaryti įvairių judėjimų, uždarant ir pertraukiant srovę elektromagneto solenoide arba stiprinant ir silpninant šitą srovę. Ir toki judėjimai galima sudaryti dideliam atokume nuo tos vietos, kurioje uždaroma arba pertraukiama srovė. Galima taip suderinti elektromagnetas, jo inkaras ir srovė, kad, paleidus srovę, inkaras būtų ir traukiamas prie elektromagneto ir atatleidžiamas. Vienu žodžiu, svyruos čia uždarydamas srovę, čia pertraukdamas ją. Mes turėsime tada svyruojantį, arba vibruojantį, srovės pertraukėją. 251 piešinys atvaizduoja tokį aparatą. Tas aparatas vadinasi Neefo arba Wagnerio plaktukas (Neefas ir Wagneris jo išradėjai). Mes čia turime elektromagnetą, viršuj kurio polių randasi plokštelė iš minkštos geležies (inkaras). Galas šito inkaro prijungtas prie elastingos metalinės (plieno) plokštelės, kurios antras galas kietai pritrauktas sraigtu

prie metalinio stulpo d. Viršuj šitos elastingos plokštelės randasi dar antra plokštelė c, kurią liečia aštrus sraigto galas. Tasai sraigto galas platinuotas, lygiai kaip ir nedidelis plotas plokštelės c. Sraigtas randasi metaliniam stulpe b. Vienas galas solenoido vielos prijungtas prie borno a, o antrasis prie metalinio stulpo b iš apačios (žiūr. 251 pieš.). Prijungsime akumulatorių arba batareją prie bornų a ir d. Tada srovė eis, sakysime, per a į solenoidą, iš solenoido per b į stiftą c ir iš ten per elastingą plokštelę į d ir iš d į batareją atgal. Bet tada galai geležies šerdžių taps magnetiniais poliais ir pritrauks inkarą. Kontaktas tarp sraigto aštraus galo ir plokštelės c bus panaikintas, ir srovė bus pertraukta. Bet plokštelės elastingumas vėl tada nutolins inkarą nuo elektromagneto polių, vėl susidarys kontaktas vietoje c, vėl eis srovė per solenoidą, vėl bus pritrauktas inkaras ir t. t. Vadinasi, kol prie bornų a ir d bus prijungti poliai elemento arba baterejos, inkaras vibruos čai uždarydamas, čai pertraukdamas srovę. Mes turėsime paprastą srovės pertraukėją. Dažnumas vibracijų pareina nuo inkaro didumo ir nuo srovės stiprumo.[1])



251 pieš.

Padarę nedidelę modifikaciją Neefo plaktuko konstrukcijoje gausime elektros skambutį, kurį schematiškai atvaizduoja 252 piešinys. Mes čia turime elektromagnetą, kurio inkaras C vienu savo galu prijungtas prie elastingos plokštelės. Šita plokštelė savo elastingumu palaiko inkarą tam tikram atokume nuo elektromagneto polių, kada per elektromagneto solenoidus neina srovė. Prie antro inkaro galo prijungtas išlenktas stiebas, kuris baigiasi rutuliuku, vadinamu plaktuku. Tasai metalinis rutuliukas vibruojant inkarui muša į skambutį b. Uždarius srovę ji eina, kaip rodo 252 piešinys, per elektromagneto vingius, toliau per inkarą, plokštelę c, prijungtą prie inkaro, ir per sraigto galą C grįžta į batareją per laidininką, prijungtą prie sraigto C. Einant srovei elektromagnetas pritraukia inkarą ir sujungtas su inkaru plaktukas suduoda į skambutį b. Bet dabar srovė pertraukta vietoje C ir elastinga plokštelė vėl atitolina inkarą nuo elektromagneto polių ligi tam tikro atokumo. Bet dabar vėl susidaro kontaktas vietoje C, vėl srovė eina per elektromagnetą, vėl plaktukas suduoda į skambutį ir t. t. Vadinasi, uždarius srovę elektromagneto inkaras vibruoja, plaktukas dažnai muša į skambutį, ir skambutis skamba.

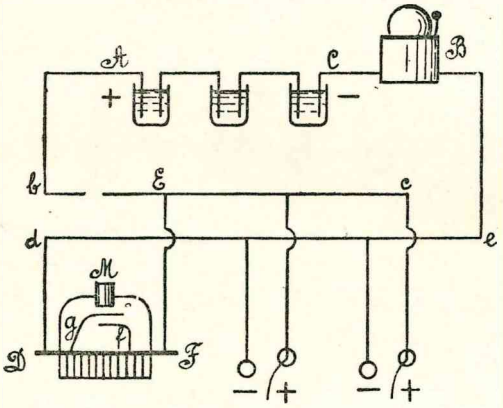


252 pieš.

Kada naudojamasi tuo pačiu skambučiu iš įvairių vietų, sakysime, kada iš įvairių kambarių paduodami ženklai į tarno kambarį, tai tada vartojama sujungimo schema, kurią atvaizduoja 253 piešinys. Mes čia turime du pagrindinius laidininkus bc ir de, kurie eina lygiagrečiai per visus kambarius. Vienas galas laidininko bc (galas b) prijungiamas prie + polio batarejos AC, taip pat vienas galas laidininko de (galas e) prijungiamas per skambutį D (tiksliau kalbant, per skambučio elektromagneto vingius) prie — polio batarejos AC. Batareja dažniausiai sudaroma iš keleto elementų Leclanché (žiūr. 11 §). Galima vartoti ir nedideli švino akumulatoriai. Atskiruose kambariuose prie pagrindinių laidininkų bc ir de šuntu (vadinasi, lygiagrečiai) prijungiami mygtukai MDF (piešiny atvaizduotas tik vienas toks mygtukas, o kiti mygtukai pažymėti schematiškai ženklais + ir —). Mygtukas sudarytas iš dviejų elastingų užlenktų metalinių plokštelių g ir f, užvožtų dažniausiai mediniu gaubtuvėliu su apskrita skyle viršuje (žiūr. 253 pieš. iš kairės pusės apačioje). Šitoje skylėje randasi trumpas cilinderis M

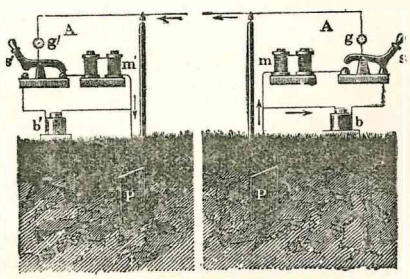
[1]) Tais pačiais principais remiasi kamertoninis srovės pertraukėjas ir elektromagneto varomas kamertonas, aprašyti „Fizikos paskaitų" V skyriaus 2 §, 116 pusl.

iš kaulo. Paspaudus pirštu šitą cilinderį mes padarysime kontaktą tarp plokštelių g ir f, iš kurių viena prijungta prie laidininko de, o kita prie laidininko bc. Taigi dabar srovė eis nuo batarejos + polio per laidininką bc į plokštelę f, paskui į plokštelę g ir per laidininką de, per skambutį B atgal į batareją AC. Vadinasi, kol kauliukas bus prispaustas, skambutis B skambės. Taip pat veikia ir pažymėti schemoje mygtukai kituose kambariuose. Patogumo dėliai skambutis dar sujungiamas su ypatingu elektromagnetiniu prietaisu, kuris išmeta kambario numerį, iš kurio duodamas signalas, taip kad tarnas žino, į kurį kambarį reikia eiti.

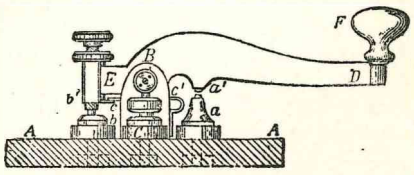


253 pieš.

Turint pakankamai stiprią srovę galima paleisti skambutis dideliam atokume nuo tos vietos, kur uždaroma srovė, ir tada mes turėsime elektros telegrafą (telegrafas reiškia prietaisą, kuriuo perduodami ženklai dideliame atokume). Susitarus atatinkamai kombinuoti trumpus ir ilgus skambėjimus, uždarant srovę trumpesniam arba ilgesniam laikui, galima kiekvienam abėcėlės ženklui priskirti tam tikra kombinacija trumpų ir ilgų skambėjimų ir tokiu būdu sukurti telegrafo abėcėlė. Šita telegrafo idėja priklauso amerikiečiui Juozapui Henry'ui, kuris ją ištobulino ir paskelbė jos principus 1833 metais. Tuo pačiu laiku du Vokietijos profesoriai, Gausas ir Weberis, nepriklausomai nuo Henry'ui, pasiūlė telegrafo variantą, kur vietoj elektromagnetinio skambučio veikia galvanometras. Galvanometro adata, aprūpinta rodikliu, svyruoja išilgai ciferblato ir, kombinuojant tos adatos atsilenkimus, didesnius ir mažesnius, į vieną ir į antrą pusę, galima irgi sustatyti tam tikra telegrafo abėcėlė. Gausas ir Weberis 1833 metais sujungė tokiu telegrafu astronomijos observatoriją (Gausas) su fizikos institutu (Weberis) Goettingene. Kiekviena įstaiga buvo aprūpinta jautriu galvanometru, batarėja ir komutatorium, su kurio pagalba galima buvo paleisti srovė ta ar kita kryptimi į liniją, t. y. į laidininkus, jungiančius abidvi įstaigas, kurios buvo atokume apie kilometrą viena nuo antros. Gausas ir Weberis naudojosi tokiu telegrafu susisiekti tarp astronomijos observatorijos ir fizikos instituto. Kaip mes pamatysime, galvanometras ir šiandien yra pagrindinis aparatas povandeniniam telegrafui. Sausumos telegrafo įtaisymas remiasi Henry'o principais ir jo išrastais aparatais, kurie buvo tik ištobulinti ir tinkamai sukombinuoti amerikiečio Morse's. Sausumos telegrafas tad vadinamas Morse's telegrafu, tur



254 pieš.



255 pieš.

būt, tik todel, kad Morse paėmė šitam telegrafui patentą. Neneigiant Morse's nuopelnų telegrafo ištobulinime, nereikia vienok užmiršti, kad tikras sausumos telegrafo kūrėjas yra Henry's.

Aprašysime čia trumpai sausumos telegrafą. Paprasčiausią tokio telegrafo schemą atvaizduoja 254 piešinys. Tam piešiny parodytos dvi stotys A ir A^1. Kiekviena stotis

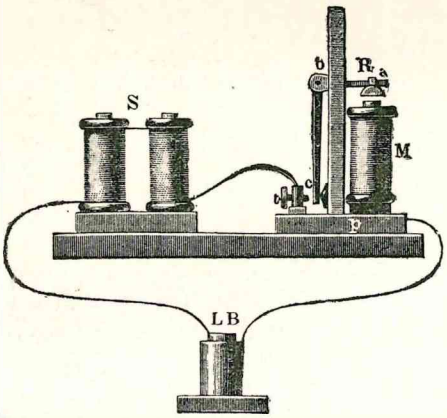
turi šiuos aparatus: Morse's raktuką s, elektromegnetą m, batarėją b ir metalines plokštis p, įleistas į žemę. Vienas batarėjos polis kiekvienoje stotyje prijungtas prie plokščių PP, įleistų į žemę, o antras polis prie vieno kontakto Morse's raktuko, kurį atskirai atvaizduoja 255 piešinys. Tas raktukas sudėtas iš misinginės svirties DE, kuri gali svyruoti apie ašį B misinginėse pakaklėse BC, kurios pritrauktos sraigtais prie medinės lentos AA. Nuo šitos vietos tiesiama viela į antrą stotį (žiūr. 254 pieš.). Svirtis DE aprūpinta sagutėmis (mygtukais, metaliniais) a^1 ir b^1. Apačioje tų mygtukų randasi tokie pat metaliniai mygtukai a ir b, ant galų metalinių stulpelių, pritrauktų sraigtais prie lentos AA. Paprastai įtempimu tam tikro spyruoklio svirtis DE būna tokioje būklėje, prie kurios mygtukas b^1 yra kontakte su mygtuku b, o tarp mygtukų a ir a^1 nėra kontakto (žiūr. 255 pieš.). Mygtukas a prijungtas prie vieno polio, sakysime + polio batarėjos (antrasis batarėjos polis, kaip jau pasakyta, prijungtas prie plokšties P, įleistos į žemę). Paspausime paėmę už rankenos Morse's raktą taip, kad pasidarytų kontaktas tarp mygtukų a ir a^1 (žiūr. 254 pieš. iš dešinės pusės). Tada srovė nuo batarėjos eis per sudarytą kontaktą ir svirtį DE per g į liniją A, pasieks vidurį (pakakles) Morse's raktuko antroje stotyje A^1, iš pakaklių per svirtį DE pateks į kontaktą tarp mygtukų b ir b^1, ir kadangi prie mygtuko b prijungtas elektromagnetas, tai pereis per elektromagneto vingius, iš ten pateks į metalinę plokštį P žemėje, per žemę pasieks metalinę plokštį P žemėje pirmosios stoties A ir iš ten grįš atgal į batarėją. Elektromagnetas aprūpintas inkaru. Taigi inkaras bus pritrauktas, ir štiftas ant inkaro galo, suduodamas į tam tikrą atramą, duos garsinį ženklą arba, jeigu štiftas aštrus, išspaus ant popieriaus juostos, kuri slenka ties štiftu, trumpesnį ar ilgesnį bruožą. Tai pareina nuo to, ar Morse's raktukas stotyje A bus paspaustas ilgesnį ar trumpesnį laiką. Taigi ir čia galima sustatyti tam tikra telegrafo abėcėlė arba atatinkamai kombinuojant garsinius ženklus arba trumpus (taškus) ir ilgus bruožus. Vartojama šiandien Morse's abėcėlė sudėta iš kombinacijos tokių taškų (trumpų bruožų) ir bruožų. Duodame čia pavyzdį pirmųjų keturių abėcėlės ženklų:

a ·— b —··· c —·—· d —·· ir t. t.

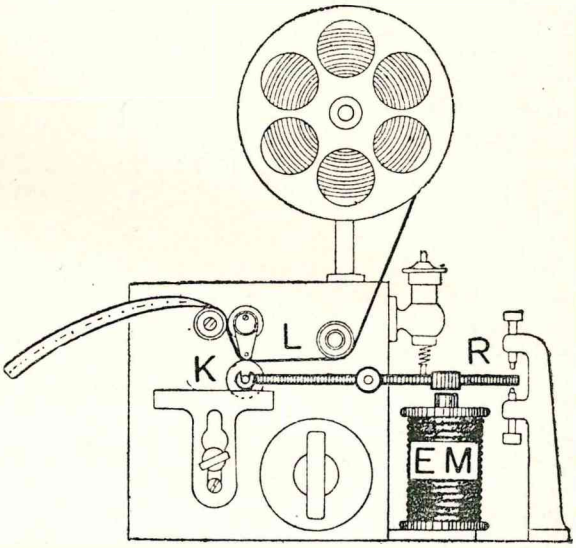
254 piešinio schemoje srovė eina iš stoties A į stotį A' per vielą, užsuktą ant izolatorių (porcelano izolatoriai), kurie prijungti prie medinių stulpų, ir grįžta atgal per žemę. Reikia pasakyti, kad pirmieji telegrafai turėjo du laidininkus: vieną srovei viena kryptimi, o antrąjį srovei atgal. Nepaisant to, kad jau senai buvo žinoma, kad žemė yra gan geras elektros laidininkas ir kad ja galima pasinaudoti elektros ratui sudaryti, šita idėja naudotis žeme, kaipo laidininku srovei atgal, priklauso vokiečiui Steinheiliui (1833 metais) ir ji reiškia didelį laidininko medžiagos sutaupymą, vadinasi, didelį lėšų sutaupymą įtaisant telegrafą, nekalbant jau apie tai, kad mes čia turime ir energijos sutaupymą, nes turint tik vieną laidininką dusyk mažiau elektros energijos virs šilima einant Joulio dėsniu. Šilima, kaip mes žinome, reiškia visuomet elektros energijos nuostolį. Šita sistema veikia nelyginant kaip hidraulinė sistema, kada vanduo keliamas augštyn vienoje vietoje prūdo arba ežero, paduodamas vamzdžiu arba kanalu į kitą vietą, ten krisdamas varo turbiną ir atadirbęs nuteka atgal į ežerą arba prūdą.

Pradėjus steigti telegrafus ir didėjant atokumams tarp stočių, greitu laiku pasirodė, kad del didelės linijos varžos, kuri yra proporcinga laidininko ilgiui, per elektromagnetą eina tiek silpna srovė, kad ji vos tik gali išjudinti elektromagneto inkarą, taip kad priėmimo stoty nebegalima gauti nei garsinių ženklų, nei rašto ženklų. Kad būtų pašalintas šitas trūkumas, Henry's sugalvojo prietaisą, vadinamą „relais" (relė), kurį atvaizduoja 256 piešinys. Tai yra elektromagnetas M, apsuptas dideliu skaičium izoliuotos plonos vielos vingių. Inkaras šito elektromagneto R prijungtas prie vieno peties laužtos svirties Rbc, kuri svyruoja apie ašį b. Elektromagnetinis veikimas yra proporcingas amper-vingių skaičiui. Taigi inkaras R bus šiek tiek pritrauktas net ir tada, kada per elektromagnetą M eis silpna srovė. Mažo patraukimo pakaks, kad svirties petys bc padarytų kontaktą vietoje c su sraigtu t, prie kurio prijungtas vienas galas rašomojo aparato elektromagneto S. Antras galas elektromagneto S vielos prijungtas prie vieno

polio vadinamos vietinės batarejos LB, kurios uždavinys duoti srovę elektromagnetui S ir tokiu būdu paleisti rašomąjį aparatą. Antros batarejos LB polis sujungtas su svirtimi bc. Taigi relais M, kaip tik per jį eina silpna srovė iš padavimo stoties, uždaro sudarant kontaktą vietoje c vietinę batareją LB ir tokiu būdu paleidžia elektromagnetą S priėmimo stoties ir tos stoties rašomąjį aparatą. Kada buvo padarytas išradimas „relais", jo pagalba galima buvo telegrafuoti į didelius atokumus ir telegrafas, išradus „relais", greitai išsiplėtė po visą žemę.



256 pieš.

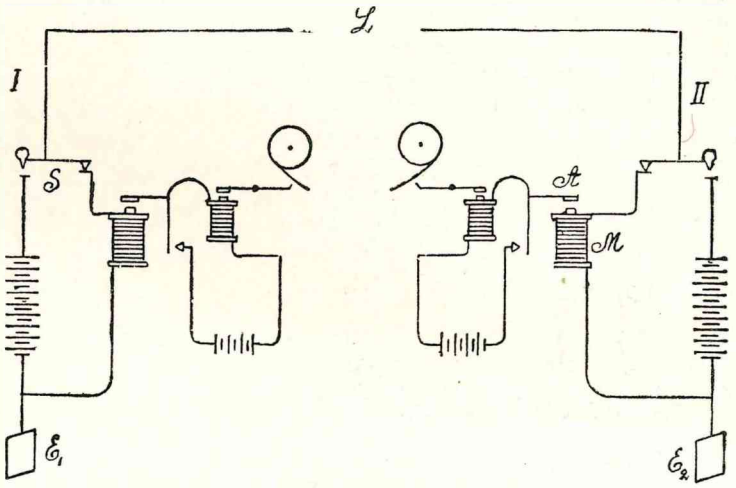


257 pieš.

257 piešinys atvaizduoja rašomąjį aparatą Morse's, žiūrint iš šono. EM elektomagnetas (parodyta viena jo šaka), apsuptas vingiais storos vielos, paleidžiamas srovės iš vietinės batarejos. Viršuj elektromagneto polių randasi inkaras iš minkštos geležies ant svirties RK, kuris svyruoja apie ašį, porodytą piešiny dviem koncentriniais ratukais. Einant srovei per elektromagnetą inkaras pritraukiamas ir svirties galas R susiduoda į apatinį štiftą (žiūr. 257 pieš. iš dešinės pusės). Tasai štiftas neleidžia inkarui paliesti elektromagneto polių, kad, nustojus srovei eiti per elektromagnetą, elastingas spyruoklis lengviau atitrauktų svirties dešinįjį petį su inkaru nuo elektromagneto polių. Atsitraukdamas svirties galas R susiduoda į viršutinį štiftą (žiūr. pieš. iš dešinės pusės). Taigi uždarant ir pertraukiant srovę svirties galas R svyruoja tam tikrose ribose, apibrėžtose atokumu tarp abiejų štiftų galų. Šitas atokumas galima keisti žiūrint reikalo. Kairysis svirties KR petys turi ant savo galo judomą ratuką, kuris paliečia popieriaus juostą L, kada inkaras pritraukiamas prie elektromagneto polių. Tasai ratukas iš apačios grimsta latakėlyje su rašalu arba dažais ir todel savo viršutine dalimi palieka ant popieriaus juostos ženklą trumpo arba ilgesnio bruožo pavidalu. Popieriaus juosta L užvyniota ant didesnio rato (viršutinė piešinio dalis) ir varoma tarp dviejų valcų, parodytų piešiny viršuj K, laikrodžio mechanizmu. Tasai mechanizmas užsukamas raktu ir automatiškai sustabdomas tam tikru prietaisu, kada inkaras atitraukiamas nuo elektromagneto galų elastingu spyruokliu, ir automatiškai paleidžiamas, kada inkaras pritraukiamas prie elektromagneto polių, pradėjus eiti per elektromagnetą srovei.

258 piešinys parodo sujungimo schemą tarp dviejų stočių I ir II. Kiekviena stotis turi Morse's raktuką S ir linijos batareją, paprastai iš didesnio skaičiaus elementų. Tos batarejos vienas polis prijungtas prie mygtuko a Morse's raktuko (žiūr. 255 pieš.), o antras polis prijungtas prie metalinės plokštės E, įleistos į žemę. Linijos viela L prijungta prie raktukų vidurio. Raktuko mygtukas b (žiūr. 255 pieš.) sujungtas su vienu galu solenoido „relais." Antras jo galas prijungtas prie E_1. Pagaliau, kiekviena sto-

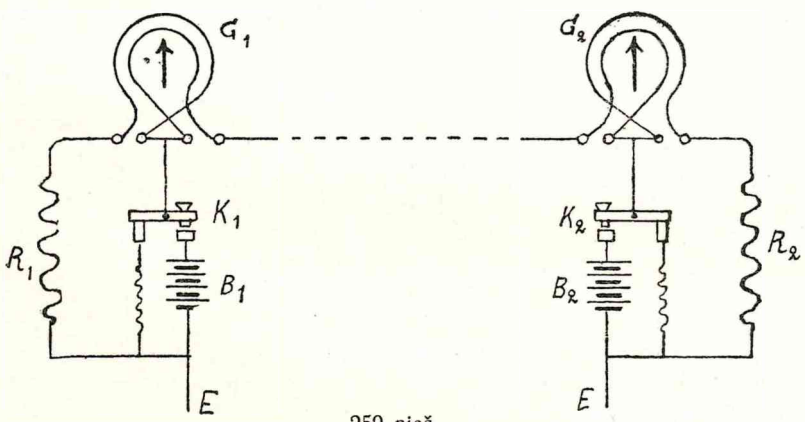
tis turi vietinę batareją iš keleto elementų sujungtų, kaip rodo 258 piešinys, su rašomuoju Morse's aparatu. Užimant Morse's raktukams padėtį, kaip rodo 258 piešinys, linija neveikia. Paspausime rankena vieną raktukų, sakysime, raktuką stoties II žemyn. Tad srovė iš batarejos stoties II eis per raktuką į liniją L ir per vidurinę dalį raktuko S stoties I ir to raktuko dešinįjį galą pateks į solenoidą „relais", o iš ten į žemę. Inkaras „relais" bus pritrauktas ir laužtos svirties padedamas uždarys vietinę batareją stoties I. Taigi, rašomasai Morse's aparatas ims veikti. Paspaudus raktuką S stoties I bus paleistas Morse's aparatas stoties II.



258 pieš.

Naudojantis aprašyta čia schema negalima telegrafuoti tuo pačiu laiku viena ir antra kryptimi. Taigi, toki sistema nėra pakankamai efektinga. Kad galima būtų tuo pačiu laiku telegrafuoti viena ir antra kryptimi, vartojamos sistemos, vadinamos „Duplex" ir „Multiplex". Aprašysime čia paprastesnę iš šitų dviejų sistemų, būtent „Duplex", kuri sausumoje vartojama kaipo diferencinė sistema, o povandeniniam telegrafui kaipo Wheatstone'o tilto sistema. Ir vienu ir antru atveju vietoj „relais" vartojami jautrūs galvanometrai.

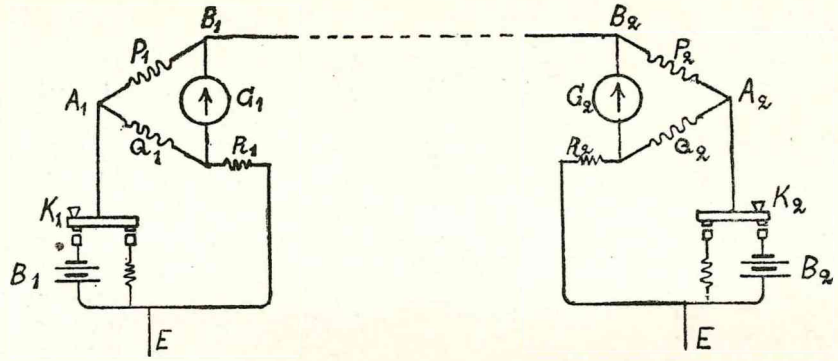
259 piešinys duoda diferencinės sistemos schemą. E čia reiškia sujungimą su žeme, B_1 ir B_2 linijos batarejas vienos ir kitos stoties, K_1 ir K_2 Morse's raktukus, G_1 ir G_2 galvanometrus vienos ir antros stoties. Galvanometrų solenoidas, sudarytas iš dviejų dalių, taip kad paspaudus raktuką K_1 srovė iš batarejos B_1 eina per abidvi dalis selenoido G_1 priešingomis kryptimis Taigi galvanometras G_1 neatsilenks, jeigu srovė abiejose jo solenoido sekcijose bus to paties didumo. Kad tai galima būtų atsiekti, su viena iš solenoido sekcijų galvanometro G_1 iš eilės sujungiamas reostatas R_1, o antroji to galvanometro solenoido sekcija sujungiama iš eilės su linija (sujungimo būdas tas pats ant abiejų stočių). Reostato R_1 varža sureguliuojama taip, kad ji būtų lygi linijos varžai plius kitos stoties aparatų varža (taip pat reostato R_2 varža sureguliuojama taip, kad ji būtų lygi linijos varžai plius pirmosios stoties aparatų varža). Taigi pa-



259 pieš.

spaudus, sakysime, raktuką K_1 galvanometras G_1 neatsilenks, nes ta pati srovė eis priešinga kryptimi per abidvi sekcijas solenoido galvanometro G_1, bet šita srovė atlenks galvanometrą G_2 antrosios stoties, nes srovė iš dalies eis per vieną jo solenoido sekciją ir raktuką K_2 į žemę ir iš dalies per antrą solenoido sekciją ir reostatą R_2. Taigi, čia srovė eis per abidvi solenoido sekcijas ta pačia kryptimi, taip kad efektas bus lygus sumai veikimo abiejų sekcijų ir galvanometras G_2 parodys signalą, gaunamą iš stoties G_1. Šita „Duplex" sistemos pagalba galima tuo pačiu laiku telegrafuoti iš vienos ir iš antros stoties, naudojantis ta pačia linija, nes paspaudimas raktuko Morse's ant abiejų stočių neliečia galvanometro tos stoties, kuriai priklauso raktukas, ir paleidžia galvanometrą antros stoties.

260 piešinys atvaizduoja tilto schemą, vartojamą, kaip jau pasakyta, povandeninėms linijoms. Ant vienos stoties čia batareja B_1 prijungta per Morse's raktuką K_1 prie vieno mazgo A_1 Wheatstone'o tilto (taip pat ant antros stoties prijungta batareja B_2). Keturias Wheatstone'o tilto šakas čia sudaro varžos P_1 ir Q_1, linija L ir reostatas R_1. Varža šito reostato R_1 reikia sureguliuoti taip, kad $\frac{P_1}{Q_1} = \frac{L}{R_1}$. Tad paspaudus raktuką K_1 per galvanometrą G_1 neis srovė (arba srovė per galvanometrą G_1 bus lygi nuliui). Bet per liniją L eis srovė ir, pasiekus antrąją stotį, eis į žemę iš dalies per galvanometrą G_2 ir iš dalies per P_2. Taigi galvanometras G_2 bus paleistas. Jeigu tuo pačiu laiku bus paspaustas raktukas K_2, tai galvanometras G_2 tuo nebus paleistas, o bus paleistas galvanometras G_1 tolimesnės stoties.



260 pieš.

Paminėsime čia tik dar, kad šiandien Morse's rašomasai aparatas tiek ištobulintas, jog jis tiesiog spausdina ant popieriaus juostos telegramas, veikiant ant padavimo stoties klavišomis, kurios atatinkamai sukombinuotos su raidėmis, nelyginant kaip fortepiano klavišos sukombinuotos su tam tikrais tonais.

Greit po išradimo telegrafo ir jo išbandymo sausumoje prasidėjo mėginimai sujungti telegrafu dvi vietas, atskirtas vandeniu. Vandeny negalima tiesti plikų vielų visų pirma del cheminio jūros arba okeano vandens veikimo, kuris suėda kaip geležies, taip ir vario vielą. Todel perdavimui elektros energijos iš vienos vietos į antrą vandeny arba po žeme vartojami vadinami kabeliai. Tai yra pluoštas iš keleto vario vielų, sakysime, iš 7 vielų, apsupus 6 vielas apie septintą. Toksai pluoštas vario vielų izoliuojamas gutaperčos sluogsniu. Pagaliau, kad būtų apsaugotas tokis kabelis nuo mechaniško pagadinimo, jis dar apsupamas geležies vielų tinklu, kuris apklojamas stora drobe, impregnuota derva. 1850 metų rugpjūčio mėn. Anglijos inžinieriams pasisekė ištiesti tokį kabelį tarp Anglijos uosto Dover ir Prancūzijos uosto Calais per vadinamą kanalą, kuris atskiria Angliją nuo Prancūzijos. Ir tas buvo pirmutinis povandeninis telegrafas. Ėmus jam veikti tuojau pasirodė visa eilė trūkumų. Visų pirma ženklai, duodami iš vienos stoties, pasiekdavo kitą stotį pasivėlindami ir, be to, rašo-

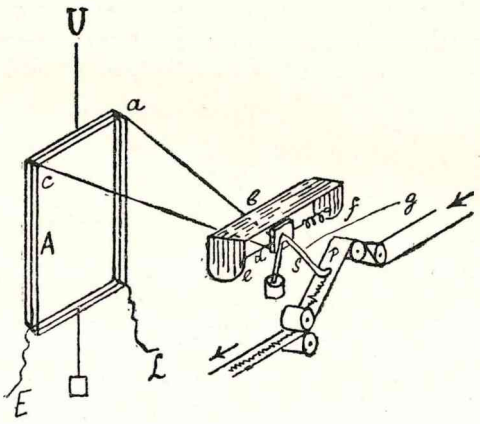
masai aparatas duodavo neaiškių silpnų bruožų, per vidurį kiek stipresnių. Srovės greitumas vielose yra apie 200 000 kilometrų per sekundą. Žemės apskritimas yra apie 40000 kilometrų. Taigi, srovė apibėga žemę per $^1/_5$ sekundos. Todel veikiant telegrafui ant sausumos, ženklai, duodami iš vienos stoties, pasiekia kitą stotį, galima sakyti, akimirkoje. Bet per povandeninį kabelį ženklai, duodami iš vienos stoties, pasiekia kitą stotį mažiau ar daugiau pasivėlindami, ir tas pasivėlinimas svyruoja tarp sekundos dalies ir minutės. Tai pareina nuo kabelio ilgio. Šituo klausimu susidomėjo jaunas dar tuomet fizikas Williamas Thomsonas ir 1855—1856 metais nurodė į minėto signalizacijos pasivėlavimo priežastis ir priemones šitam trūkumui pašalinti. Mat, kabelis vandeny veikia kaip kondensatorius (kaip Leydeno bonka), kurio vieną pamušalą sudaro vario vielų pluoštas, o antrą pamušalą jūros arba okeano vanduo, kuris yra geras elektros laidininkas todel, kad tam vandeny, sulyginti, daug druskų. Gutaperča sudaro dielektriką tarp abiejų pamušalų. Pažymėsime kabelio vario branduolio stipiną raide a, gutaperčos vamzdžio stipiną raide b ir kabelio ilgį raide l. Tad laikant tokį kabelį kondensatoriumi jo talpumas bus $C = l \frac{K}{2 \ln \frac{b}{a}}$. Čia K reiškia gutaperčos dielektrinę konstantą, kuri, apskritai, yra lygi 4 (žiūr. 7 §). Tegu $\frac{b}{a} = 2{,}718$ (t. y. bus lygi natūralinių logaritmų bazei). Tad kabelio talpumas bus lygus $C = l \frac{4}{2} = 2l$. Žodžiu, tokiomis sąlygomis kabelio talpumas bus lygus jo dvigubam ilgiui. Taigi, paėmę kabelį 1 kilometro ilgio, mes turėsime talpumą 2.10^5 absoliutinių vienetų arba 0,22 mikrofaradų, o paėmę kabelį 4000 kilometrų ilgio jo talpumas bus jau 880 mikrofaradų. Tai yra didelis talpumas. Taigi prijungus tokį kabelį prie batarejos + polio, jo varinis branduolis bus užtaisytas teigiamai, tuo tarpu okeano vanduo bus užtaisytas neigiamai, ir elektros trauka tarp šitų dviejų elektros sluogsnių trukdys elektros judėjimą per kabelį, nekalbant jau apie tai, kad užtaisyti tokiam kabeliui — kondensatoriui bus reikalingas tam tikras laikas ir juo didesnis, juo kabelis ilgesnis. Todel suprantama, kad, aplamai, per kabelį eis silpna srovė ir, be to, ta srovė pasieks maksimumą per tam tikrą laiką, paspaudus Morse's raktuką ir atleidus Morse's raktuką, išnyks ne akimirkoje, bet vėl per tam tikrą laiką. Tasai laikas, aplamai, yra proporcingas kabelio talpumui ir jo varžai, ir kadangi abudu tie dydžiai proporcingi kabelio ilgiui, tai kalbamasai laikas yra proporcingas kvadratui kabelio ilgio. Išaiškinęs šituos dalykus, Thomsonas pamatė, kad elektromagnetais ir aparatais, kurie remiasi elektromagnetų veikimu, negalima naudotis norint duoti signalų per povandeninius kabelius. Todel jis pakeitė elektromagnetus jo paties išrastu jautriu galvanometru (žiūr. 12 §, 161 pieš.).

Iš pradžios Thomsonas naudojosi ženklus priimdamas savo galvanometru su veidrodžiu, sekdamas atmušto šviesos spindulio svyravimus. Bet paskui, remdamasis savo darbais povandeninio telegrafo srityje, kurie tęsėsi daugiau kaip 10 metų, Thomsonas pakeitė savo galvanometre veidrodį vadinamu sifonu-rekorderiu, kuris, vibruojant galvanometro magnetui, arba solenoidui, registruoja signalus ant popieriaus juostos kreivos linijos pavidalu. Toksai galvanometras su sifonu-rekorderiu šiandien visur vartojamas povandeniniam telegrafavimui ir todel laikomas standartu — instrumentu. 261 piešinys schematiškai atvaizduoja šitą instrumentą. Tai yra galvanometras d'Arsonvalio tipo. Solenoidas A kaba tarp polių stipraus permanentinio magneto. Solenoidas sujungtas siūlais ab ir cd su nedidele sija bd, kuri gali suktis apie vielą ef kaipo apie ašį. Prie sijos prijungtas užlenktas vamzdis s mažo diametro. To vamzdžio vienas galas įleistas į mažutį indą su rašalu, o antrasis remiasi ant popieriaus juostos taške p. Taigi vamzdelis s yra ne kas kita, kaip mažas sifonas. Popieriaus juosta varoma tarp valcų laikrodžio mechanizmu visiškai taip, kaip Morse's rašomajame aparate. Iš piešinio aišku, kad einant srovei per solenoidą A viena ar antra kryptimi ir svyruojant tam solenoidui, galas sifono svyruos skersai popieriaus juostos, ir tokiu būdu registruos gaunamus signalus bangų linijos pavidalu. Kad būtų sumažintas trynimas tarp taško p ir poperiaus, vienas

galas elastingo siūlo gs prijungtas prie sifono, o antrasis prie kamertoninio vibratoriaus[1]). Taigi sifono galas p visą laiką tai liečia popierių, tai truputį nutolsta nuo jo ir duoda ant popieriaus juostos punktyru nupieštą bangos liniją.

Williamas Thomsonas ištobulino ne tik povandeninio telegrafo aparatą, bet ir sugalvojo mechanizmą ir nustatė visas smulkmenas klojimo kabelio okeane tarp Anglijos ir Amerikos, nes jis dalyvavo tame darbe ir vadovavo visai technikinei ir mokslinei pusei kabelio klojimo metu.

Būtent, 1856 metais Anglijoje buvo įsteigta Akcinė Bendrovė Transatlantinio Telegrafo (Transatlantic Cable Company), ir Thomsonas buvo pakviestas tos B-vės direktorium del jo naudingo mokslo ir technikos darbo, kuris visiems buvo aiškus dedant pirmutinį povandeninį kabelį tarp Dovero ir Calais.



261 pieš.

1857 metais, remiantis Thomsono planu, buvo pradėta tiesti kabelis iš Anglijos uosto Southampton į Ispanijos uostą Valenciją, žadant tiesti toliau kabelį iš Valencijos į New-Foundlandą (įlanką Trinity-Bay). Bet ištiesus apie 600 kilometrų kabelio po vandeniu jis trūko, ir tik Thomsono energijos dėka 1858 metais pasisekė ištiesti pirmasis kabelis ligi Valencijos.

Nuo šito laiko minėta bendrovė ėmė ruoštis prie tolimesnio tiesimo kabelio ligi Amerikos. Bet šitas darbas buvo pradėtas tik 1865 metais atatinkamai paruošus tam reikalui didelį garlaivį „Great Eastern“ (skaityk „Gret Istern“) su visais reikalingais mechanizmais. Bet ištiesus apie 3000 kilometrų kabelio po vandeniu kabelis vėl trūko. Nepaisant didelio nusiminimo del lėšų nuostolių ir, aplamai, del nepasisekimo, Thomsono energija, ištvermė ir entuziazmas privertė bendrovę vėl pradėti kabelio klojimo darbą, ir vasarą 1866 metų pasisekė ne tik ištiesti pirmąjį kabelį tarp Europos ir Amerikos, bet ir ištraukti ir pataisyti abudu trūkusius kabelius. Charakteringa pirma telegrama, kuri Thomsono buvo pasiųsta iš Europos į Ameriką šituo pirmuoju kabeliu: „Garbė Dievui aukštybėse ir taika žmonėms žemėje“. Thomsonas laikė telegrafą dalyku didžiausios reikšmės, nes tikėjo, kad jo pagalba žemės tautoms lengviau tarp savęs susižinant, greičiau būsianti įvykdyta žemės taika. Kultūra ir civilizacija auga plečiantis ekonominiams ir intelektualiniams santykiams tarp įvairių tautų, o šitie santykiai plečiasi ir gilinasi didėjant susisiekimo ir informacijos priemonėms. O tąs yra didžiausia telegrafo vertė.

Baigdami šitą paragrafą atkreipsime dar dėmesį į vieną dalyką, kuris iš pradžios smarkiai trukdė padavimą ženklų povandeniniu kabeliu, būtent, į vadinamas žemės sroves. Jeigu būtų įleistos į žemę dviejose vietose metalinės plokštys ir būtų jos sujungtos viela, tai įterptas į vielą galvanometras rodo srovę. Vadinasi, tarp dviejų plokščių, įleistų į žemę, reiškiasi tam tikras potencialų skirtumas. Tasai potencialų skirtumas būna juo didesnis, juo toliau viena nuo antros dvi žemės vietos. Šita srovė yra kenksminga ir telegrafavimui ant sausumos, bet ji ypatingai kenksminga telegrafavimui kabeliais, nes čia mes turime ypatingai didelius atokumus. Thomsonas išaiškino ir šitą dalyką ir sugalvojo priemones pašalinti žemės srovių kenksmingam veikimui. Abiejose stotyse A ir B įjungiami į liniją du kondensatoriai didelio talpumo. Tegu kolektorius kondensatoriaus A prijungtas prie + polio linijos batarėjos, o kondensuojamoji plokštelė prijungta prie linijos. Tada + elektra taupysis ant kolektoriaus plokštės A, o —

[1]) Žiūr. „Fizikos paskaitų“ V skyriaus 2 §, 116 pusl.

elektra nuo kondensatoriaus plokštės teka į liniją ir į kolektoriaus plokštį kondensatoriaus B. Tokiu būdu + elektra nuo kondensatoriaus plokštės stotyje B teka per galvanometrą.

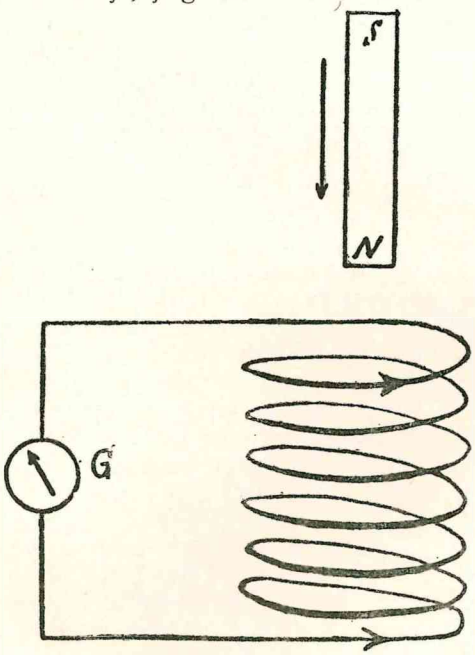
Trumpai aprašytas čia darbas klojimo kabelio per Atlantiko okeaną — darbas, kurio įvykdymas yra suvartojęs daug lėšų, daug energijos ir daugiau kaip 10 metų laiko, aiškiai rodo, kokios didelės reikšmės turi dalyvavimas tokiam darbe genialaus mokslininko. Neperdedant galima pasakyti, kad jeigu nebūtų buvę Thomsono, povandeninio telegrafo realizavimas būtų užsitęsęs gal dar kokią 10 metų, jei ne daugiau.

20 §. Mykolas Faraday'us. Elektromagnetinė indukcija. Lenzo dėsnis. Flemingo taisyklė. Tarpusavė indukcija. Tarpusavės indukcijos koeficientas. Saviindukcija. Ekstra srovės. Saviindukcijos koeficientas. Foucault'o, arba verpetų, srovės. Galvanometro slopinimas. Žemės induktorius. Balistinis metodas magnetiniam geležinio žiedo pralaidumui matuoti.

Magnetizmo ir elektros skyriuje teko jau mums minėti Faraday'aus vardą ne vieną sykį. Šitame paragrafe mes kalbėsime apie vieną didžiausį jo išradimą, kuris turėjo didžiausios reikšmės elektros mokslui ir elektros pritaikymui gyvenimo reikalams ir kurio vaisiai šiandien toli gražu dar neišsemti. Taigi bus ne pro šalį pasakyti čia keletą žodžių apie šitą žmogų. Mykolas Faraday'us gimė Londone 1791 metais neturtingo kalvio šeimoje ir visą savo amžių gyveno tame mieste. Jis lankė tiktai pradžios mokyklą ir išmoko tik gerai skaityti ir rašyti, ir visas jo matematinis bagažas buvo tik elementarinė aritmetika. 13 metų amžiaus jis įstojo tarnautoju į popieriaus parduotuvę, prie kurios buvo ir knygų aptaisymo dirbtuvė. Rytais jis pardavinėjo laikraščius, o paskui darbavosi popieriaus parduotuvėje ir dirbtuvėje, kur gerai išmoko knygų aptaisymo amatą. Bet tuo pačiu laiku jis labai daug skaitė, o ypač įvairius chemijos ir fizikos veikalus. Jam tokiu būdu pasisekė žymiai padidinti savo žinias. Be to, jis turėjo laimės, tarnaudamas popieriaus parduotuvėje, susipažinti su vienu nariu Londono Karališkosios Mokslo Draugijos, kuris susidomėjo apsukriu vaikinu ir savo patarimais ir tiesiogine pagalba nemaža padėjo Faraday'ui save išauklėti. Taip praslinko keletas metų. 1812 metais Faraday'us minėto savo mokyto draugo patariamas lankė viešas paskaitas garsaus chemiko Humphry Davy'o Karališkam Institute, įsteigtame prie Karališkos Mokslo Draugijos, kurio direktorium tuomet buvo Davy's. Tasai Institutas veikia Londone ir šiandien ir taip pat, kaip ir XIX amžiaus pradžioje, skleidžia mokslo žinias viešomis paskaitomis, žymesnių Anglijos mokslininkų laikomomis, ir atlieka mokslinius tyrinėjimus daugiausia chemijos ir elektros srityje. Davy'o paskaitos padarė Faraday'ui labai smarkų įspūdį ir sužadino jam karšto noro tapti mokslininku ir tyrinėjimais prisidėti prie mokslo plėtojimosi. Bet kaip pasiekti šitas tikslas be mokslo cenzo ir be lėšų? Faraday'us sumanė kreiptis į Davy'į ir prašyti jo pagalbos ir patarimo. Pasibaigus Davy'o paskaitų ciklui Faraday'us parašė jam laišką, prašydamas, kad Davy's padėtų jam tapti mokslininku ir, neturėdamas jokių kitų išrodymų savo tinkamumo moksliškam darbui, pridėjo prie to laiško sąsiuvinį su gražiai parašytu konspektu išklausytų Davy'o paskaitų su piešiniais ir diagramomis. Davy's atsiliepė į šitą laišką ir pasiūlė Faraday'ui stoti Karališkojo Instituto laboratorijos tarnu ir tuo pačiu laiku laborantu; algos turėjo gauti 25 šilingus per savaitę (apie 50 litų), butą, kurą ir šviesą. Faraday'us labai džiaugėsi gavęs šitą tarnybą 1813 metais kovo 1 dieną, ir jau nuo to laiko ligi savo mirties nebepersiskyrė su Karališkuoju Institutu. Tais pačiais metais, rudenį, jis su Davy'u iškeliavo į kontinentą Davy'o kamerdinieriumi ir tuo pačiu laiku jo sekretoriumi, aplankė Prancūziją, Italiją, Šveicariją ir Vokietiją; turėjo progos susipažinti su visa eile įžymių mokslo vyrų ir teikė Davy'ui veiklios pagalbos atlikdamas kai kuriuos eksperimentus. 1815 metais Faraday'us grįžta į Londoną ir tęsia savo darbą Karališkame Institute jau Davy'o asistentu. Taigi, bendradarbiavimas su Davy'u ir kelionė po Europą žymiai padidino Faraday'aus išauklėjimą ir bent iš dalies davė jam tų žinių bagažą, kuris paprastai įsigyjamas augštojoje mokykloje. Nuo 1816 metų prasideda visiškai savarankiškas

Faraday'aus darbas mokslo srityje, t. y. chemijos ir fizikos srityje, ir tęsiasi su nedidelėmis pertraukomis daugiau kaip 40 metų. Faraday'us pasižymėjo nepaprastu gabumu eksperimentams ir buvo apdovanotas dvasios gabumu, vadinamu intuicija. Pirmieji jo tyrinėjimų žingsniai pažymėti visa eile išradimų. Paminėsime čia tik jo dujų suskystinimą, benzolo išradimą ir jo darbus magnetizmo, elektrostatikos ir elektrodinamikos srityje, kur jis savotiškai nušvietė dalyką savo jėgų lauko koncepcija. Del minėtų jo darbų, nepaisant to, kad jis neturėjo reikalingos kvalifikacijos ir reikalingo cenzo, Faraday'us buvo išrinktas Karališkos Mokslo Draugijos nariu ir dar anksčiau— Karališkojo Instituto lektorium. Paskui, atsistatydinus Davy'ui, jis tapo to Instituto direktorium ir pasiliko šitoje tarnyboje ligi 1858 metų. Mirė 1867 metais.

Susipažinęs 1821 metais su žinomu jau mums Oersted'o išradimu (žiūr. 12 §) Faraday'us daug darbavosi magnetų ir srovių tarpusavio veikimo srityje ir atliko visą eilę labai įdomių ir ryškių eksperimentų. Jis padirbo visą eilę aparatų, kuriais demonstravo sukimą magnetų srovėmis ir atbulai. Energijos išlaikymo dėsnis, kaip žinoma, buvo paskelbtas tik 1847 metais, bet Faraday'us intuityviškai pajautė šito dėsnio didžiausią reikšmę fizinio pasaulio srityje ir laikė jį būtina išvada iš Newtono akcijos ir reakcijos principo. Taigi, sekant tarpusavį magnetų ir srovių veikimą, jam iš pat pradžios atėjo tokia mintis į galvą: jeigu einant srovei per laidininką laidininko apylinkoje susidaro magnetinis laukas, kuris veikia magnetus ir kitus laidininkus, per kuriuos eina elektros srovė (žiūr. 17 §), tai sudarant tuo ar kitu būdu magnetinį lauką laidininko apylinkoje tame laidininke turi susidaryti elektros srovė, nes tai išeina iš akcijos ir reakcijos dėsnio. Šita mintis neduoda Faraday'ui ramybės jau nuo 1822 metų, ir jis daro pastangas šitai minčiai realizuoti ir savo dienoraštyje užrašo: „Darau pastangas, norėdamas paversti magnetizmą elektra". Taip pat, apvyniojus geležies cilinderį pavijoniais iš izoliuotos vielos ir leidžiant per tą vielą srovę, geležies cilinderis virsta stipriu magnetu. Tai yra akcija. „O kas bus reakcija?", klausia Faraday'us, „kas bus vieloje, jeigu tuo ar kitu būdu bus magnetinama geležis? — Vieloje turi susidaryti elektros srovė",—mano Faraday'us. Bet visos pastangos gauti tokiam efektui ilgą laiką nueina niekais. Faraday'us vienok nepaprastos ištvermės žmogus ir nepasiduoda. Pastangos šitos tęsiasi keletą metų ir Faraday'us pats pasakoja, kad tuomet jis kišenėje nešiojo su savim nedidelį geležies cilinderį, apsuptą izoliuotos vielos pavijoniais tam, kad kiekviena proga išėmęs šitą cilinderį iš kišenės vėl galėtų sukoncentruoti savo mintį šitame klausime. Pagaliau jam pasiseke surasti ieškomas efektas ir išrasti elektromagnetinė indukcija. Šitą pirmutinį pasisekusį Faraday'aus eksperimentą paversti magnetizmą elektra mes pažymėsime kiek vėliau šitame paragrafe, o dabar kalbėsime apie Faraday'aus išradimą, eidami jo paveikslingesniais eksperimentais, kurie vienok jam pasisekė tik vėliau.



262 pieš.

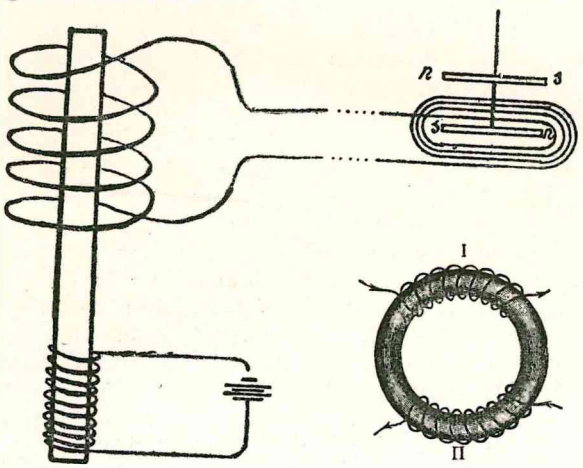
262 piešinys atvaizduoja solenoidą su dideliu pavijonių skaičiumi, sujuntą su jautriu astatišku galvanometru. Artindami permanentinį magnetą, sakysime, šiaurės poliu prie solenoido, mes pastebėsime galvanometro adatos atsilenkimą. Vadinasi, artinant magnetą solenoide susidaro elektrovaromoji jėga, kuri varo per pavijones srovę tam tikra kryptimi. Bet parimus magnetui ir srovė išnyksta. Taip pat tolinant magnetą nuo selenoido (tolinant šiaurės polį) galvanometro adata atsilenkia, bet priešinga kryptimi. Vadinasi,

tolinant šiaurės polį nuo solenoido, solenoide susidaro elektrovaromoji jėga priešingo ženklo, kaip artinant šiaurės polį prie solenoido. Taikydami jau žinomą mums Ampero taisyklę, arba kairiosios rankos trijų pirštų taisyklę, iš galvanometro adatos atsilenkimo mes surasime srovės kryptį solenoide. Taigi artinant permanentinio magneto šiaurės polį prie solenoido, kaip rodo 262 piešinys, srovė eina per vingius prieš laikrodžio rodyklę, jeigu žiūrėsime į solenoido galą, atkreiptą į šiaurės polį iš augšto. Vadinasi, artinant šiaurės polį prie solenoido galo, tasai solenoido galas pats reiškia šiaurės magnetizmą. Tokiais pat samprotavimais nesunku įsitikinti, kad tolinant šiaurės polį nuo solenoido galo solenoide susidaro srovė kryptimi laikrodžio rodyklės, žiūrint į solenoido galą vėl iš augšto. Vadinas, kad tolinant šiaurės polį nuo solenoido galo, tasai galas reiškia pietų magnetizmą. Tęsiant panašius bandymus toliau, nesunku įrodyti, kad artinant prie solenoido galo permanentinio magneto pietų polį elektromagnetinis efektas bus toks pat, kaip tolinant šiaurės polį, o tolinant pietų polį nuo solenoido galo, efektas bus toks, kaip artinant šiaurės polį. Pagaliau nesunku panašiais eksperimentais įrodyti, kad čia turi reikšmės tik relatyvus permanentinio magneto ir solenoido judėjimas. Efektas bus toks pat, ar mes artinsime magnetą prie solenoido, ar mes varysime solenoidą ant magneto ar pagaliau tuo pačiu laiku varysime ir magnetą ir solenoidą vienas antro link. Varant, sakysime, magnetą į solenoidą, srovė solenoide išnyksta, kada magneto ašis sutampa su solenoido ašimi. Taip pat srovė išnyksta, kada magnetas nustoja judėjęs. Taigi, srovė reiškiasi tik kintant relatyviai padėčiai magneto ir solenoido. Jeigu pakartodami iš eilės artinsime magnetą prie solenoido ir tolinsime jį, tai srovė stiprės ligi tam tikro maximumo, kris ligi nulio, pakitės savo kryptimi, pasieks maximumą šita priešinga kryptimi, eis vėl per nulį ir t. t. Tokia srovė vadinasi kintamoji srovė. Faraday'us iš pradžios mėgino paversti magnetizmą elektra padėdamas stiprų permanentinį magnetą labai arti nuo geležies branduolio solenoide. Dabar suprantama, kodel jis tokiomis sąlygomis jokio efekto nepastebėjo, nes tokiomis sąlygomis nėra jokio relatyvaus judėjimo tarp magneto ir solenoido. O tai yra būtina sąlyga elektromagnetinio efekto. Pastebėjęs tai, Faraday'us paskui jau lengvai realizavo šitą efektą įvairiais būdais.

Aprašytas čia tarpusavis veikimas magneto ir solenodo (uždaryto laidininko) vadinasi magnetine indukcija. Mes kalbame čia apie indukuotą srovę magnetų ir apie indukuotą elektrovaromąją jėgą. Iš bandymų einant 262 piešiniu pasirodo, kad keičiant relatyvę padėtį magneto ir solenoido arba, aplamai, uždaryto laidininko, sakysime, vielos rato pavidalu, laidininke susidaro srovė tokia kryptimi, kuria ta srovė stengiasi sustabdyti magneto judėjimą. Pavyzdžiui, artinant šiaurės polį prie solenoido, ant solenoido galo, prie kurio artinamas magnetas, susidaro srovė tokia kryptimi, kad tasai solenoido galas veikia kaip šiaurės magnetinis polis, vadinasi, stumia artinamą magnetą. Taip pat tolinant šiaurės polį nuo solenoido, solenoide susidaro srovė tokia kryptimi, kad tasai solenoido galas veikia kaip pietų magnetizmas, kuris traukia tolinamąjį šiaurės polį. Tai yra bendra taisyklė, kuri veikia ne tik aprašytai čionai magnetinei indukcijai, bet ir kitiems indukcijos būdams, kaip mes tuojau pamatysime. Šita taisyklė buvo galutinai formuluota Petrapilio fizikos prof. Lenzo 1834 metais ir žinoma Lenzo dėsniu. Šitas dėsnis trumpai skamba taip: Indukuota srovė visuomet yra tokios krypties, kad priešinasi tam judėjimui, kuris tą srovę indukuoja. Šitas Lenzo dėsnis yra ne kas kita, kaip atatinkama forma formuluotas energijos išlaikymo dėsnis. Be to, mes čia turime tokį reiškinį, kuris smarkiai primena inercijos veikimą fizinių kūnų srityje. Inercija mes vadiname pasyvų pasipriešinimą fizinės sistemos bet kuriai pastangai pakeisti tos sistemos būklę. Ir čia mes matome panašų pasipriešinimą pastangai pakeisti elektromagnetinės sistemos būklę, ir to pasipriešinimo išvadą turime indukuotą elektrovaromąją jėgą.

Aprašysime čia dar keletą Faraday'aus bandymų variantų. Artindami arba tolindami magnetą solenoido atžvilgiu mes stipriname arba silpniname magnetinį lauką solenoido apylinkoje ir to išdavą turime laidininke indukuotą srovę. 263 piešinys rodo kitą būdą magnetizmo stiprinimo arba silpninimo (arba magnetizmo sudarymo ir panaikinimo) solenoido apylinkoje. Mes čia turime cilinderį iš minkštos geležies, kurio abudu

galai apsupti pavijonėmis iš izoliuotos vielos. Į tinklą apatinio solenoido įjungta batareja su reostatu ir su Morse's raktuku, su kurio pagalba galima uždaryti ir pertraukti srovė. Į tinklą solenoido ant viršutinio geležies cilinderio galo įjungtas jautrus astatinis galvanometras (imama astatinė sistema, kad būtų eliminuotas žemės magnetinio lauko veikimas). Uždarant srovę apatiniam solenoide, geležies cilinderis bus įmagnetintas, ir solenoide ant viršutinio cilinderio galo susidarys tam tikros krypties akimirkos srovė. Indukuota srovė tam solenoide, einant minėtu Lenzo dėsniu, bus tokios krypties, kad slopins magnetizmą ant šito galo geležies cilinderio, sudaromą uždarymu srovės apatiniam solenoide.



263 pieš.

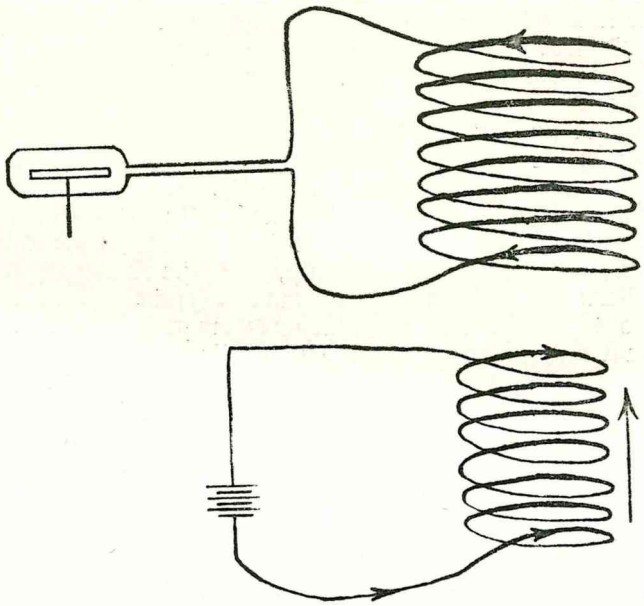
264 pieš.

Kaip pasakyta, šita srovė veikia tik akimirką, kol nusistato statinis magnetinis laukas. Taip pat pertraukiant srovę apatiniam solenoide, viršutiniam solenoide veikia akimirkos srovė tokia kryptimi, kad sulaikytų magnetizma viršutinio geležies cilinderio galo. Ta indukuota srovė veikia tik pertraukiant srovę apatiniame solenoide. Vietoj uždarymo arba pertraukimo srovės apatiniame solenoide galima su reostato pagalba uždaryta srovė stiprinti arba silpninti. Stiprindami srovę mes stiprinsime geležies cilinderio magnetinį lauką ir viršutiniam solenoide gausime induktuotą srovę tam tikros krypties, einant Lenzo dėsniu (tokios krypties, kaip uždarant srovę), o silpninant srovę apatiniam solenoide, t. y. silpninant geležies magnetizmą, viršutiniam solenoide susidarys indukuota srovė tokios krypties, kaip pertraukiant srovę apatiniam solenoide.

264 piešinys atvaizduoja garsią Faraday'aus minkštos geležies grandį. Ta grandis aprūpinta dviem solenoidais arba dviem špulėmis iš izoliuotos vielos. Viena iš tų špulių sujungta iš eilės su batareja, reostatu ir Morse's raktuku, kad galima būtų uždaryti ir pertraukti srovė ir silpninti arba stiprinti uždaryta srovė. Šita špulė vadinasi pirmine špule ir pažymėta cifra I. Antra špulė pažymėta cifra II sujungta iš eilės su jautriu galvanometru. Šita špulė vadinasi antrinė. Uždarydami arba atidarydami pirminę srovę mes gausime antrinę srovę viena arba antra kryptimi antrinėje špulėje. Taip pat stiprindami arba silpnindami srovę pirminėje špulėje mes gausime indukcijos srovę antrinėje špulėje. Taigi, veikimas tokios grandies iš esmės bus toks pat, kaip ir geležies cilinderio, aprūpinto dviem špulėmis, kaip rodo 263 piešinys. Bet veikimas geležinės grandies bus daug stipresnis, nes einant per pirminę špulę tai pačiai srovei magnetinis laukas geležinės grandies bus žymiai stipresnis, kaip geležinio cilinderio, todel, kad dalis uždarytos magnetinės jėgos kilpos, priklausančios geležies cilinderiui, eina ore ir ta dalis silpnina cilinderio geliežies magnetizmą (žiūr 1 § apie priežastis magnetizmo nykimo permanentiniuose magnetuose ir apie būdus šitam magnetizmui palaikyti). Tuo tarpu turint geležinę grandį visa kilpa magnetinės jėgos randasi geležyje ir toki geležinė grandis veikia kaipo magnetas be polių. Su pagalba tokios geležinės grandies, aprūpintos dviem špulėmis, Faraday'ui ir pasisekė po ilgų pastangų, kurios tęsėsi keletą metų, gauti magnetinės indukcijos efektas. Todel šita grandis, jo paties rankomis padirbta, laikoma šiandien kaip relikvija Karališkame Institute Londone. Kaip pamatysime vėliau, tokia grandis su 2 špulėmis, pirmine ir antrine, yra prototipas transformatoriaus, su kurio pagalba galima elektros energija žemo įtempimo paversti elektros energija augšto įtempimo, ir atbulai.

Pagaliau 265 piešinys atvaizduoja Faraday'aus metodą gauti indukcijos efektui veikiant laidininkui, per kurį eina srovė, kitą laidininką. Čia mes turime irgi dvi špu-

les: pirminę apačioje, sujungtą iš eilės su galvanine batareja, ir antrinę viršuj, sujungtą iš eilės su jautriu astatiniu galvanometru. Uždarydami arba pertraukdami srovę pirminėje špulėje mes sudarysime arba naikinsime magnetinį lauką pirminės špulės apylinkoje. Jeigu antrinė špulė ne per toli, tai ji atsidurs sferoje šito magnetinio lauko, turinčio dar pakankamai stiprumo. Taigi, uždarydami arba atidarydami srovę pirminėje špulėje, mes sudarysime arba naikinsime magnetinį sriautą ir apylinkoje antrinės špulės ir todel gausime indukcijos srovę šitoje antrinėje špulėje vienos arba antros krypties, kurią mums ir parodys galvanometras. Taikydami Lenzo dėsnį, mes iš anksto pasakysime, kad uždarant srovę pirminėje špulėje indukcijos srovė antrinėje špulėje eis priešinga kryptimi kaip pirminėje špulėje, o pertraukiant srovę pirminėje špulėje indukcijos srovė antrinėje špulėje eis ta pačia kryptimi kaip pirminėje špulėje (visuomet antrinėje špulėje srovė eis taip, kad sustabdytų tą magnetinio lauko atmainą, kurią sudaro srovė pirminėje špulėje). Panašų indukcijos efektą mes gausime ir tada, jeigu visą laiką turėsime uždarytą srovę pirminėje špulėje, bet šitą srovę su pagalba reostato stiprinsime arba silpninsime. Abidvi špules galima padėti viena antros atžvilgiu taip, kaip rodo 265 piešinys, arba įdėti jas vieną į antrą, nes tada jos bus arčiausia viena nuo antros, ir mes turėsime smarkiausią indukcijos efektą. Paprastai imama tušti cilinderiai mediniai, ebonitiniai arba stikliniai, apvynioti daugybė pavijonių izoliuotos vielos (vario vielos), ir vienas cilinderis įdedamas į antrą cilinderį. Ypatingai smarkus indukcijos efektas bus tada, kada į pirminę špulę bus įkištas dar minkštos geležies cilinderis, kitaip sakant, kada pirminė špulė bus aprūpinta geležine šerdimi, nes geležies magnetinis pralaidumas yra keletą tūkstančių sykių didesnis kaip oro magnetinis pralaidumas, ir todel uždarydami srovę pirminėje špulėje mes sudarysime daug stipresnį magnetinį lauką ir pertraukdami srovę panaikinsime daug stipresnį magnetinį lauką. Taigi, tokiomis sąlygomis mes turėsime daug didesnes atmainas magnetinio lauko ir to išdavą žymiai smarkesnį indukcijos efektą. Aprašyta čia kombinacija vadinasi induktorius, bet jį galima pavadint ir transformatoriumi.

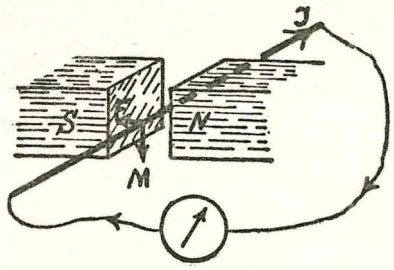


265 pieš.

Apie šituos savo darbus, pradėtus kaip jau pasakyta 1822 metais, Faraday'us padarė pirmą pranešimą Karališkai Mokslo Draugijai Londone 1831 metų lapkričio 24 dieną, ir šita data pažymi didelį įvykį fizikos istorijoje. Šitą dieną Faraday'us pirmąsyk paskelbė elektromagnetinės indukcijos išradimą, nurodydamas įvairius metodus elektromagnetinei indukcijai realizuoti. Reikia pasakyti, kad tuo pačiu laiku ir nepriklausomai nuo Faraday'aus išrado elektromagnetinę indukciją ir amerikietis Juozapas Henry's, New Yorko priemiestyje Albany, apie kurį jau mes minėjome kalbėdami apie elektromagnetinį telegrafą. Bet Amerikoje nebuvo tuomet nei Karališkosios Mokslo Draugijos. nei tokio susidomėjimo elektromagnetiniais fenomenais, kaip Anglijoje, ir todel Faraday'us sužinojo apie Henry'o išradimus praėjus jau kuriam laikui po jo pranešimų Karališkajai Draugijai. Reikia pasakyti, kad abudu išradėjai, sužinoję apie tą patį išradimą, padarytą vieno ir antro, nematydami ir nepažindami vienas antro, palaikė

labai gyvus draugiškus santykius vienas su antru, dažnai susirašinėjo elektromagnetinės indukcijos klausimais ir dažnai smarkiai ginčijosi.

Minėtame savo pranešime Karališkajai Mokslo draugijai Faraday'us tarp kitko sako, kad ir tiesialinė viela, jeigu yra artinama tam tikra kryptimi prie magnetinio polio stipraus elektro-magneto, rodo indukcijos efektą, nes toje vieloje susidaro indukcijos srovė. Čia Faraday'us pirmą sykį vartoja charakteringą išsireiškimą: „Perkertant laidininkui magnetinį lauką arba magnetines jėgų linijas tam tikra kryptimi, jame susidaro indukcijos elektrovaromoji jėga, kuri priešinasi laidininko judėjimui". Taigi čia mes turime pirmą aiškų išsireiškimą apie esminę reikšmę indukcijos fenomenams magnetinio lauko atmainų. 266 piešinys atvaizduoja laidininką J magnetiniame lauke tarp polių stipraus permanentinio magneto S ir N. Laidininkas perkerta čia magnetines jėgos linijas kampu 90°. Laidininkas iš eilės sujungtas su jautriu galvanometru. Slenkant tam laidininkui per magnetinį lauką žemyn, kaip rodo iešmutė M, galvanometras rodo srovę, kol laidininkas juda. Slenkant laidininkui priešinga kryptimi (augštyn), galvanometras rodo srovę priešingos krypties, kaip pirmą sykį. Taigi ir vienu ir antru atveju laidininke susidaro elektrovaromoji jėga. Tos elektro-varomosios jėgos kryptis galima nustatyti einant Lenzo dėsniu. Bet dar prasčiau ir lengviau indukcijos elektrovaromosios jėgos kryptis nustatoma su pagalba vadinamos dešiniosios rankos trijų pirštų taisyklės (Flemingo taisyklė). Atsiminsime, kad kalbėdami apie tarpusavį veikimą magnetų ir laidininkų, kad būtų nustatyta judėjimo kryptis, mes naudojomės Flemingo kairiosios rankos trijų pirštų taisykle: atlenkus smagurį, nykštį ir vidurinį pirštą kairiosios rankos taip, kad jie sudarytų tiesius kampus tarp savęs, reikia ištiesti smaguris magnetinio lauko kryptimi, o vidurinis pirštas einančios per laidininką srovės kryptimi. Tada judėjimas magneto arba laidininko bus nykščio kryptimi. Kalbant apie elektromagnetinę indukciją, sudarytą relatyviu judėjimu magnetinio lauko ir laidininko, ir norint surasti indukuotos elektrovaromosios jėgos kryptį, reikia dešiniosios rankos smaguris, nykštys ir vidurinis pirštas atlenkti taip, kad jie tarp savęs sudarytų tiesius kampus. Ištiesus smagurį magnetinio lauko kryptimi, o nykštį judėjimo kryptimi, vidurinis pirštas duos kryptį indukcijos elektrovaromosios jėgos. Taigi šitie trys vektoriai — judėjimas, magnetinis laukas ir elektrovaromoji jėga sudaro visuomet tiesius kampus tarp savęs. Tai yra labai charakteringa ypatybė elektromagnetiniams fenomenams. Taigi taikydami šitą dešiniosios rankos taisyklę schemai 266 piešinio, mes konstatuosime, kad slenkant laidininkui per magnetinį lauką žemyn, elektrovaromoji jėga bus atkreipta iš kairės į dešinę pusę, o slenkant tam pačiam laidininkui augštyn, ta pati jėga bus atkreipta iš dešiniosios į kairę pusę.



266 pieš.

Iš to, kas augščiau pasakyta, išeina, kad uždarytam laidininke susidaro indukcijos elektrovaromoji jėga visais tais atvejais, kada kinta magnetinis laukas, kuris eina per laidininką arba, kitaip sakant, kada kinta magnetinių jėgų linijų skaičius arba magnetinis sriautas, kuris eina per laidininko apimtą plotą, taip kad indukcijos elektrovaromoji jėga yra proporcinga magnetinio sriauto atmainai per 1 sekundą. Tegu per laidininko apimtą plotą pradžioje jo judėjimo per magnetinį lauką pereina N_1 jėgų linijų, o praėjus laikui t sekundų pereina N_2 jėgų linijų. Tad atmaina magnetinio sriauto per 1 sekundą bus $\frac{N_2 - N_1}{t}$, ir pažymėję elektrovaromąją jėgą raide E, mes turėsime:

$$E = -K\frac{N_2 - N_1}{t} = -K\frac{dN}{dt}.$$ Diferencialas reikia imti tada, kada sriauto variacija nevienoda. Išreiškiant dydžius E, N ir t absoliutiniais vienetais (centimetrais, gramais ir sekundomis) koeficientas K bus lygus vienetui. Iš to išeina, kad elektrovaromoji jėga

laidininke, kuris slenka per magnetinį lauką, yra lygi skaičiui magnetinių jėgų linijų, kurias jis perkerta per 1 sekundą. Tokiu būdu galima išreikšti Faraday'aus elektromagnetinės indukcijos dėsnis. Vadinasi, kada laidininkas slenka per magnetinį lauką tokiu greitumu, kad jis perkerta per sekundą tik vieną magnetinę jėgų liniją (čia turima galvoj vadinamos vieneto linijos arba vieneto vamzdeliai, žiūr. 1 §), tai tada laidininke veikia indukuota elektrovaromoji jėga, lygi vienetui. Šitas elektrovaromosios jėgos vienetas yra šimtą milijonų sykių mažesnis negu 1 voltas, kaip tai išeina ir iš sulyginimo elektrostatinio ir elektromagnetinio potencialų vienetų (žiūr 12 §). Vienas voltas yra lygus $\frac{1}{3} . 10^{-2}$ elektrostatinių potencialo vienetų, o elektromagnetinis potencialo vienetas sudaro tik $\frac{1}{3} . 10^{-10}$ dalį elektrostatinio vieneto. Taigi 1 voltas yra lygus $\frac{1}{3} . 10^{-2} : \frac{1}{3} . 10^{-10} = 10^{8}$ absoliutinių elektromagnetinių vienetų. Vadinasi, išreikšdami indukcijos elektrovaromąją jėgą voltais mes turėsime tokią formulą:

$$E = - \frac{N_2 - N_1}{10^8 t} = - \frac{1}{10^8} \cdot \frac{dN}{dt} .$$

Jeigu laidininkas slenka per homogeninį magnetinį lauką vienodu greitumu, taip kad laidininko apimtas plotas sudaro tiesų kampą su magnetinio lauko kryptimi, tai per 1 sekundą tiek pat jėgų linijų įeina į laidininko kontūrą iš vienos pusės kiek išeina iš antros pusės. Todel tokiomis sąlygomis nėra jokios atmainos magnetinio sriauto ir nėra jokios indukcijos elektrovaromosios jėgos. Indukcija atsitinka tik tada, kada yra atmaina magnetinio sriauto.

Kai del ženklo, kuris reikia suteikti tai indukcijos elektrovaromajai jėgai, tai laikoma teigiama kryptimi jėgų linijų arba teigiama kryptimi magnetinio lauko, kada tas magnetinis laukas eina taip, kaip slenka pirmyn dešinysis sraigtas, ir tada kryptis, kuria tas sraigtais sukamas, yra teigiama kryptis indukuotos elektrovaromosios jėgos.

Duosime čia dar kitą reiškinį indukcijos elektrovaromajai jėgai. Pažymėsime magnetinio lauko stiprumą raide H (skaičius jėgų linijų, kuris normališkai eina per 1 cm^2. lauko skerspjūvio), laidininko ilgį raide l ir laidininko greitumą raide v (žiūr. 266 pieš.) ir tegu šitie trys vektoriai sudaro tarp savęs tiesius kampus. Taigi per vieną sekundą laidininkas ilgio 1 cm., slenkąs greitumu v cm. per sekundą per magnetinį lauką, statmeniškai magnetinėms linijoms, aprašys plotą lv cm.^{2}. Vadinasi, per 1 sekundą toksai laidininkas perkirs Hlv jėgų linijų. Einant minėta indukcijos elektrovaromosios jėgos definicija šitas jėgų linijų skaičius bus elektrovaromoji jėga. Taigi: E = Hlv. Jeigu laidininko linija sudaro ne tiesų kampą su magnetinio lauko kryptimi, o kampą α, tai apskaityti plotui, kurį normališkai perkerta jėgų linijos, reikia paimti komponenta laidininko statmeniškai lauko krypčiai, t. y. reikia paimti l sin α. Taip pat, jeigu laidininkas perkerta jėgų linijas ne statmeniškai, o kampu β (tai yra, jeigu greitumo v kryptis sudaro kampą β su lauko kryptimi), tai vietoj v reikia irgi paimti komponenta statmeniškai jėgų linijoms, t. y. reikia paimti v sin β. Tokiomis sąlygomis indukuota elektrovaromoji jėga E = Hlv sin α sin β. Kada α ir $\beta = 90^0$, tai E = Hlv absoliutiniais vienetais arba $E = \frac{1}{10^8}$ Hlv voltais.

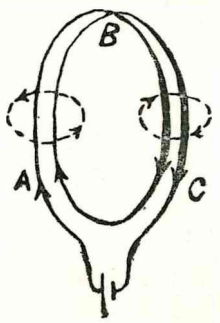
Varant laidininką per magnetinį lauką, laidininke susidaro elektrovaromoji jėga tokios krypties, kad ji priešinasi laidininko judėjimui. Taigi varant laidininką per magnetinį lauką reikia atlikti darbas. Jeigu per laidininką tokiomis sąlygomis eina srovė i, tai jėga, kuri priešinasi laidininko judėjimui per magnetinį lauką, bus Hli (žiūr. 12 ir 17 §§). Per t sekundų laidininkas atliks kelią vt. Vadinasi, darbas, kuris reiks atlikti prieš šitą jėgą, bus Hilvt. Antra vertus, jeigu per laidininką eina srovė i per laiką t veikiant indukcijos elektrovaromajai jėgai E, tai elektrinė energija yra lygi Eit. Einant energijos išlaikymo dėsniu šita elektrinė energija yra lygi atliktam darbui. Vadinasi, Eit = Hilvt, iš to: E = Hlv.

Kada mes turime du laidininkus arti vienas nuo antro, tai srovės variacijos viename laidininke sudaro indukcijos srovę antrame laidininke. Mes tada kalbame apie tarpusavę indukciją (žiūr. 265 pieš.). Surasime formulą tarpusavei indukcijai B dviem špulėms, apvyniotoms ant geležinio žiedo. 17 § mes matėme, kad špulė, kurios skerspjūvio plotas yra lygus A, kuri susideda iš n izoliuotos vielos pavijonių (vingių) ir per kurią eina srovė i, turi magnetinį momentą $ml = \mu nAi$. Čia μ reiškia magnetinį pralaidumą. Vadinasi, jeigu špulė randasi ore, tai $\mu = 1$. l čia reiškia špulės ilgį. Magnetinio lauko stiprumas išreiškiamas skaičiumi jėgų linijų, kurios normališkai eina per 1 cm.^{2} lauko skerspjūvio. Tas skaičius yra lygus $\frac{m}{r^2}$. Taigi visas jėgų linijų skaičius, arba visas magnetinis sriautas, kuris išeina iš polio stiprumo m, yra lygus $\frac{m}{r^2} \cdot 4\pi r^2 = 4\pi m$. Taigi mes turime: $4\pi m = \frac{4\pi\mu nAi}{l}$. Jeigu žiedo vidutinis stipinas yra r, tai $l = 2\pi r$.

$\frac{4\pi\mu nAi}{l}$ yra magnetinis sriautas per pirminę špulę, apvyniotą apie geležinį žiedą magnetinio pralaidumo μ ir susidedančia iš n pavijonių, jeigu per ją eina srovė i. Sakysime, kad antrinė špulė susideda tik iš vieno vingio. Tada visas tas sriautas eina ir per šitą vingį (tiksliau per plotą, apimtą šituo vingiu). Jeigu antrinė špulė susideda iš n_1 vingių, tai tada indukcijos sriautas yra lygus $\frac{4\pi\mu nn_1Ai}{l}$. Šitas dydis vadinasi tarpusavė indukcija, nes, einant srovei i per pirminę špulę, toksai sriautas eina per antrinę špulę, o einant srovei i per antrinę špulę, toksai pat sriautas eina ir per pirminę špulę. Čionai vingių skaičius, žiedo plotas ir jo ilgis ir magnetinis pralaidumas bent silpnoms srovėms yra pastovūs dydžiai. Taigi $\frac{4\pi\mu nn_1A}{l} = M$, ir tarpusavė indukcija yra lygi Mi. Skaičius M vadinasi tarpusavės indukcijos koeficientu. Aišku, kad tai yra tarpusavė indukcija, sudaryta srovės vienetu $\left(\frac{Mi}{i} = M\right)$. Apskaitydami M iš formulos $M = \frac{4\pi\mu nn_1A}{l}$ mes gausime tarpusavės indukcijos koeficientą absoliutiniais vienetais. Įprasta išreikšti tarpusavė indukcija didesniais vienetais. Toksai didesnis vienetas vadinasi 1 henry ir jis yra lygus 10^9 absoliutinių vienetų. Toksai pavadinimas tam vienetui duotas, kad būtų pagerbtas minėtas jau Juozapas Henry's. Matuodami srovę amperais ir varžą ohmais mes gausime tarpusavę indukciją, išreikštą henry'ais, nes 1 ohmas yra lygus 10^9 absoliutinių varžos vienetų. Iš augščiau minėtos formulos galima apskaityti tarpusavė indukcija dviem špulėms ant žiedo. Taip pat lengva apskaityti tarpusavė indukcija ilgam solenoidui (kurio ilgis bent 100 sykių didesnis kaip diametras), jeigu ant vidurio to solenoido apvyniota antrinė špulė iš nedidelio vingių skaičiaus n_1. Tad galime pasinaudoti tąja formula tarpusavės indukcijos koeficientui, atsimindami, kad $\frac{n}{l}$ yra lygus vingių skaičiui pirminės špulės ant 1 cm. jos ilgio.

Žinant tarpusavės indukcijos koeficientą M galima išreikšti elektrovaromoji jėga indukcijos srovės variacijomis. Toksai išreiškimas indukcijos elektrovaromosios jėgos dažnai būna patogus. Pažymėsime magnetinę indukciją raide B, špulės arba solenoido skerspjūvį raide A, visą magnetinį sriautą (visą jėgų linijų skaičių, kuris eina normaliai per 1 vingį solenoido) raide N ir tarpusavės indukcijos koeficientą raide M. Tad $N = B \cdot A = Mi$, jeigu mes raide i pažymėsime srovę, einančią per solenoido vingius. Jeigu mes turime du solenoidus arba dvi špules, pirminę ir antrinę, tai srovės variacijos pirminėje špulėje sudaro indukcijos elektrovaromąją jėgą antrinėje špulėje E, kuri išreiškiama lygtimi: $E = -\frac{dN}{dt}$, arba atsimenant santykį tarp N, B ir M gali būti išreikšta taip: $E = -\frac{dBA}{dt} = -M\frac{di}{dt}$.

Dar prieš Faraday'aus magnetinės indukcijos išradimą buvo kai kurių tyrinėtojų pastebėta, kad pertraukiant srovę, kuri eina per elektromagneto vingius, susidaro itin smarki kibirkštis, kuri suteikia nemalonų smūgį, jeigu pertraukdami srovę turėtume laidininkų galus rankose. 1832 — 1833 metais Faraday'us ištyrė šitą dalyką ir konstatavo štai ką. Pertraukiant srovę špulėje be geležinio branduolio irgi susidaro skaidri kibirkštis, tik silpnesnė kaip tuo atveju, kada solenoidas turi geležies šerdį. Pagaliau, pertraukiant srovę tiesialiniam laidininke irgi susidaro kibirkštis, tik dar silpnesnė kaip špulėje, jeigu laidininkas pakankamai ilgas. Bet paėmus ilgą dvilinką vielą, taip kad toje vieloje srovė per vieną pusę eina viena kryptimi, o per kitą pusę eina antra kryptimi, pertraukiant srovę tokioje vieloje kibirkščių nesusidaro. Uždarant srovę ilgu laidininku galima irgi pastebėti kibirkštis, jeigu tik galvaninė batareja sudaryta iš didelio skaičiaus elementų. Ta kibirkštis yra žymiai silpnesnė, kaip kibirkštis nuo tos pačios batarejos pertraukiant srovę. Faraday'us, aprašydamas tuos faktus, išsireiškė taip: „Pirmoji mintis, kuri ateina į galvą, yra ta, kad elektros srovė turi tam tikrą judėjimo momentą, arba inerciją. Šita inercija to paties ilgio vieloje būna didesnė, kada ta viela paimta spyruoklio arba špulės pavidalu, ir dar didesnė, kada ta špulė turi branduolį iš minkštos geležies". Nagrinėdamas šitą dalyką toliau Faraday'us konstatuoja, kad ir čia veikia ta pati elektromagnetinė indukcija, kuri jo buvo surasta tarp dviejų solenoidų, pirminio ir antrinio. Faraday'aus išrastos elektromagnetinės indukcijos esmė pasireiškia tuo, kad variacijos magnetinio sriauto per tą ar kitą laidininkų tinklą sudaro indukcijos elektrovaromąją jėgą, kaip kaimyniniuose laidininkų tinkluose, taip ir tame pačiame tinkle, kuriame įvyksta srovės variacijos. Vienu žodžiu, to paties laidininko viena dalis, kintant joje srovei, sudaro indukcijos elektrovaromąją jėgą kaimyninėse dalyse. Paimsime laidininką dvigubos kilpos pavidalu (žiūr. 267 pieš.) ir stiprinsime tokiame laidininke srovę, kuri eina par jį kryptimi, kaip rodo iešmos. Taigi, magnetinis sriautas čia didėja, ir taikydami Lenzo dėsnį mes konstatuosime, kad indukcijos elektrovaromoji jėga veikia čia kryptimi CBA, t. y. priešingai veikiančiai srovei. Tokiu būdu matome, kad srovė čia kiekvienu momentu yra silpnesnė del tos indukcijos elektrovaromosios jėgos, kuri varo srovę priešinga kryptimi. Antra vertus, silpnėjant srovei silpnėja ir magnetinis sriautas, o tai indukuoja elektrovaromąją jėgą, kuri veikia ta pačia kryptimi, kaip ir srovė, kaip tai išeina iš Lenzo dėsnio. Vadinasi, silpnėjant srovei susidaro elektrovaromoji jėga, kuri stengiasi šitą srovę palaikyti, ir todel tokiomis sąlygomis susidaro stipresnė srovė, kuri užsitęsia ilgiau. Aprašytus čia efektus Faraday'us pavadino saviindukcija. Esmė tos saviindukcijos yra ta, kad ji priešinasi kiekvienai srovės atmainai ir todel sulaiko visokias srovės atmainas. Analogija saviindukcijos ir inercijos krinta čia į akis. Taigi del šitos saviindukcijos uždarant srovę ji pasieks pastovią būklę ne akimirkoje, bet per tam tikrą laiką, tiesa, labai trumpą laiką; taip pat pertraukiant srovę ji išnyks ne akymirkoje, bet per tam tikrą laiką. Šita saviindukcijos elektrovaromoji jėga yra priežastimi ypatingų srovių, kurias Faraday'us pavadino ekstrasrovėmis. Kadangi indukcijos elektrovaromoji jėga yra lygi magnetinio sriauto atmainai ir kadangi pertraukiant srovę šita magnetinio sriauto atmaina yra didesnė kaip uždarant srovę, tai pertraukimo ekstrasrovė visuomet yra žymiai stipresnė, kaip uždarymo ekstrasrovė. Taigi pertraukiant srovę tarp laidininko galų veikia žymiai didesnis įtempimas kaip uždarant srovę, ir todel pertraukimo kibirkštis yra stipresnė kaip uždarymo kibirkštis. Aišku, kad šita pastaroji kibirkštis ne visuomet susidarys, nes pramušti ploniausiam oro sluogsniui reikalingas tam tikras potencialų skirtumų minimumas.



267 pieš.

Pažymėsime vėl ilgo solenoido ilgį raide l ir jo vingių skaičių raide n, jo skerspjūvio plotą raide A ir einančią per jį srovę raide i. Magnetinė indukcija tokio solenoido yra $\frac{4\pi\mu nAi}{l}$, jeigu μ reiškia pralaidumą mediumo, kuris užpildo solenoido vidurį. Kadangi šita indukcija veikia visus vingius to paties solenoido taip pat, kaip

ji veiktų vingius antrojo solenoido, jeigo toksai būtų, tai tokio solenoido „saviindukcija“ yra lygi $\frac{4\pi\mu n^2 Ai}{l}$. Čia i kintamasai dydis, o visi kiti dydžiai yra nuolatiniai. Taigi pažymėję šito reiškinio dalį, sudarytą nuolatinais dydžiais, raide L, mes turėsime: $\frac{4\pi\mu n^2 Ai}{l} = Li$. Tokia pat formula galioja ir solenoidui žiedo pavidalu, sakysime, izoliuotai vielai, apvyniotai n vingiais apie geležinį žiedą. Koeficientas L vadinasi saviindukcijos koeficientas. Iš šitos lygties matyt, kad saviindukcijos koeficientas L yra santykis tarp magnetinio sriauto arba magnetinės indukcijos ir srovės, kuri šitą sriautą sudaro, kitaip sakant, saviindukcijos koeficientas L yra lygus magnetinio sriauto atmainai, padidėjus arba sumažėjus srovei vienetu. Todel, aplamai, saviindukcijos koeficientas gali būti išreikštas lygtimi $L = \frac{dN}{di} = \frac{Li}{i}$.

Šitas saviindukcijos koeficentas L yra linijinių išmatavimų dydis ir kai kuriais atvejais gali būti apskaitytas einant laidininko ilgiu, skerspjūviu ir forma. Paimsime laidininką tiesialinės vielos pavidalu stipino a. Magnetinis laukas plonos vielos atokume r nuo jos yra $\frac{2\mu i}{r}$ (žiūr. 17 §). Įsivaizduokime dabar apie vielą stipino a cilinderį stipino b ir augščio 1. Tad jėgų linijų skaičius, apimtas tokiu cilinderiu, bus:

$$\int_a^b \frac{2\mu il}{r}\, dr = 2\mu il \ln \frac{b}{a}.$$

Tai yra reiškinys saviindukcijai tuščiam cilinderiui augščiau nurodytų išmatavimų, kitaip sakant, $2\ \mu\ l \ln \frac{b}{a}$ yra saviindukcijos koeficientas vielai stipino a ir ilgio l, atokume b nuo jos. Jeigu mes turime tokią pat vielą atžagarinei srovei, tai tada saviindukcija yra lygi $4\ \mu\ l\ i \ln \frac{b}{a}$ ir saviindukcijos koeficientas yra lygus $4\ \mu\ l \ln \frac{b}{a}$.

Vielos kilpai rato pavidalu sauindukcijos koeficientas L yra lygus $4\pi\mu r \ln \frac{8r}{d}$. Čia r reiškia rato stipiną, o d vielos skerspjūvį. Kitais atvejais saviindukcijos formulos daug painesnės, ir todel dažniausiai tenka nustatyti saviindukcijos koeficientas matavimu. Saviindukcijos kaip ir tarpusavės indukcijos koeficientas išreiškiamas Henry'o vienetais.

Atliekant varžos matavimus Wheatstone'o tiltu, reikia skaitytis su saviindukcijos veikimu. Uždarant batarejos srovę gali atsitikti, kad srovės tilto šakose didės nevienodai, ir todel galvanometras duos atsilenkimą, nepaisant to, kad varžos keturiose šakose bus subalansuotos nuolatinei būklei. Todel atliekant matavimus Wheatstone'o tiltu visuomet reikia iš pradžios uždaryti batarejos raktukas ir paskui jau uždaryti galvanometro raktukas. Tokiu būdu nustatoma nuolatinė būklė srovei prieš įjungiant galvanometrą. Todel, kad būtų išvengta saviindukcijos veikimo, matuojamos Wheatstone'o tiltu varžos imamos dvilinkės, taip kad ta pati srovė eina priešingomis kryptimis abiejose vielos dalyse. Tokiomis sąlygomis saviindukcijos efektas yra lygus nuliui. Taip pat ir špulės varžos magazinuose sudarytos iš dvilinkų vielų arba iš vielos, apvyniotos taip, kad pirma jos dalis eina, sakysime, iš kairės į dešinę pusę, antra iš dešinės į kairę, trečia kaip pirma ir t. t. Taip užvyniotos vielos yra atpalaiduotos nuo saviindukcijos.

Iš to, kas pasakyta apie saviindukciją, matome, kad veikiant kintamajai srovei laidininke, jame susidaro indukcijos elektrovaromoji jėga, kuri kinta visuomet priešingai veikiančiai elektrovaromajai jėgai E. Taigi, pažymėję laidininko varžą raide R, jo saviindukcijos koeficientą raide L, ir taikydami Ohmo dėsnį tokiai kintamajai sro-

vei mes turėsime: $E - \frac{d}{dt}(Li) = Ri$, arba $E = Ri + \frac{d}{dt}(Li)$. Jeigu, be to, kinta ir saviindukcija, tai paskutinė lygtis atrodo taip:

$$E = Ri + L\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{dt} = \left(R + \frac{dL}{dt}\right) i + L\frac{di}{dt}.$$

Šita lygtis yra energijos užlaikymo lygtis, kaip tuojau bus matyti, padauginus šitos lygties abidvi puses į i. Tada iš vienos pusės mes turėsime Ei, išeikvota elektros energija, o iš antros pusės Ri^2, t. y. ta energijos dalis, kuri išsklaidoma laidininke kaipo šilima (Joulio šilima) ir plius dar $i\left(L\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{dt}\right)$, t. y. indukcijos elektromagnetinė energija laidininke.

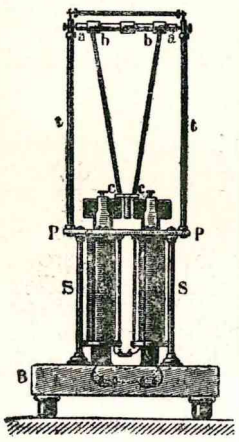
Be to, veikiant laidininke kintamajai srovei ir kintant saviindukcijai laidininko varža atrodo didesnė kaip R, būtent, ta varža tada yra lygi $R + \frac{dL}{dt}$. Narį $\frac{dL}{dt}$ galime pavadinti pašaline priedine varža. Toki kintamoji sauindukcija reiškiasi visuomet, kada dalys laidininko tai įjungiamos, tai išjungiamos iš srovės tinklo arba iš srovės rato, kaip tai, sakysime, įvyksta dinamo mašinose su kolektorium Tokiais atvejais efektyvė varža yra lygi $R + \frac{dL}{dt}$, arba R + mL, jeigu saviindukcija L prisideda n sykių per sekundą.

Pasipažinsime dabar su kai kuriais elektromagnetinės indukcijos reiškiniais ir jos pritaikymais. 224 piešinys atvaizduoja Barlowo ratą tarp magneto polių, kuris sukasi, jeigu paleista srovė, kaip rodo piešinys. Sukdami šitą ratą mes gausime srovę, tiesa, labai silpną. Ta srovė eis kryptimi, kaip rodo piešinys, jeigu diskas su krumpliais bus sukamas prieš laikrodžio rodyklę. Faraday'us buvo padirbęs nedidelę mašinėlę, kurioje varinis diskas buvo greitai sukamas tarp polių stipraus permanentinio magneto. Tokiu būdu buvo gaunama elektros srovė, nors ir silpna. Ta jo mašinėlė buvo prototipu magneto-elektriškoms mašinoms, kurios, remiantis Faraday'aus elektromagnetine indukcija, buvo išrastos kiek vėliau.

Dar prieš Faraday'aus išradimą buvo pastebėta, kad vibruojanti magnetinė adata tuojau nustoja virpėjusi, jeigu apačioje arba viršuje yra priartintas prie jos varinis diskas. 1824 metais Arago parodė, kad, pakabinus magnetinę adatą viršuj vario disko ir sukant tą diską, magnetinė adata sukasi kartu su juo. Abu šitie reiškiniai buvo Faraday'aus išaiškinti ir palaikyti elektromagnetinės indukcijos išdava. Reliatyvus judėjimas magnetinės adatos ir varinio disko indukuoja variniame diske elektrovaromąją jėgą, kuri sudaro elektros srovę diskui. Šitos srovės magnetinis laukas yra priešingas adatos magnetiniam laukui einant Lenzo dėsniu, ir todel šita srovė stengiasi palaikyti relatyvėje ramybėje adatą ir diską. Todel vibruojant magnetinei adatai viršuj nejudomo varinio disko, jos vibracijos slopinamos, ir ji greitai sustoja, o sukant diską, kartu su juo sukasi ir adata. Elektros srovės, indukuojamos metalo masėje, vadinasi Foucault'o srovėmis, arba verpetų srovėmis. Tokios srovės metalo masėje susidaro visuomet, kada metalas randasi arti nuo kintamosios srovės, nes tada metalas veikia kaipo antrinis tinklas, kuriame kintamoji srovė pirminio tinklo indukuoja kintamąją elektrovaromąją jėgą. Kada variacija magnetinio sriauto yra didelė, tai ir indukuota elektrovaromoji jėga yra didelė ir gali duoti labai stiprią srovę metale, ypač jeigu metalas turi didelį laidumą. Pavyzdžiui paimsime elektromagneto geležies šerdį. Uždarydami srovę arba pertraukdami ją elektromagneto solenoide mes sudarysime žymias atmainas magnetinio sriauto per geležį, ir todel geležyje susidarys skersai magnetinių jėgų linijų gan stiprios srovės, kurios vienok tęsis čia labai trumpą laiką. Energija šitų srovių išsklaidoma kaipo šilima, nuo kurios temperatūra geležies šerdies gali žymiai pakilti. Šita šilima neturi reikšmės uždarant ir pertraukiant srovę keletą sykių. Bet, kaip mes pamatysime vėliau, dinamo mašinose ir transformatoriuose (vadinamoje šitų aparatų armatūroje)

magnetinis sriautas apgręžiamas daug sykių per sekundą ir todel energijos nuostolis, sudarytas šilimos pavidalu, yra nemažas, ir geležinė armatūra žymiai įkaista.

Kad būtų sumažintos šitos Foucault'o arba verpetų srovės, geležinė armatūra arba geležinė transformatorių šerdis sudaroma ne iš masingo geležies cilinderio, bet iš geležies plokštelių arba vielų, kurių paviršius aptrauktas plonu sluogsniu geležies oksido, taip kad tuo oksido sluogsniu kiekviena plokštelė arba viela izoliuota nuo kitų. Tos plokštelės arba vielos sudedamos į vielų pluoštą taip, kad varža būtų visų didžiausia ta kryptimi, kuria susidaro Foucault'o srovės. Taigi, turint ilgoką solenoidą, jo geležinė šerdis reikia sudaryti iš vielų išilgai solenoido ašies, nes magnetinės jėgų linijos eis per tokią šerdį vielų pluošto pavidalu išilgai vielų, o Foucault'o srovės susidarys skersai vielų statmeniškose plokštumose solenoido ašies atžvilgiu. Toki šerdies konstrukcija žymiai sumažina verpetų sroves, ir tada mes turėsime mažesnius energijos nuostolius ir mažesnį geležies kaitinimą.



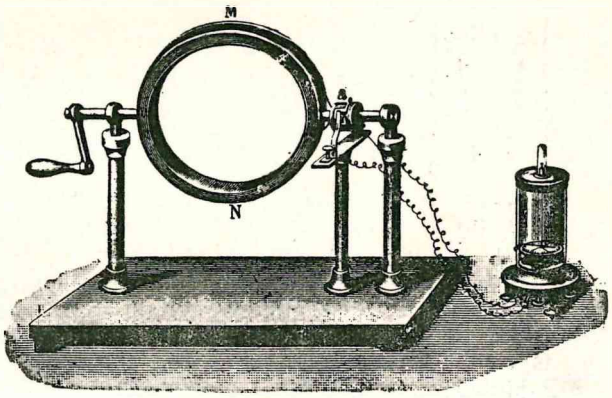
268 pieš.

268 piešinys atvaizduoja Waltenhofeno švytuoklę bbcc, kuri atlenkta ilgai švytuoja apie ašį aa. Šita švytuoklė apačioj aprūpinta varine plokštimi (žemiau cc), kuri randasi tarp stipraus elektromagneto polių. Jeigu švytuojant švytuoklei yra paleista srovė per elektromagneto vingius, tai švytuoklė tuč tuojau sustoja tarp elektromagneto polių, tarytum įklimsta į klampią medžiagą. Norint ištraukti ranka varinę plokštį pajaučiamas, taip sakant, magnetinio lauko klampumas. Čia perkertant varinei plokščiai magnetinį lauką tarp elektromagneto polių, toje plokštyje susidaro stiprios indukcijos srovės, kurios, einant Lenzo dėsniu, priešinasi jos judėjimui ir todel ją sustabdo. Jeigu tarp to paties elektromagneto polių būtų padėtas ant ašies varinis diskas, tai, palyginti, lengva ji sukti, kol per elektromagneto vingius neina srovė. Bet paleidus per elektromagneto vingius srovę, reikalinga didelė jėga, kad būtų pasuktas varinis diskas, nes sukant tą diską jame indukuojasi srovės, kurios stengiasi jį sustabdyti. Sujungus disko krantą ir ašį vielomis su galvanometru, pastarasis parodys indukuotos srovės buvimą.

12 § mes kalbėjome apie judomųjų galvanometro dalių slopinimą. Jeigu mes turime galvanometrą su nejudomu solenoidu ir judomu magnetu, tai judomo magneto slopinimas gaunamas padėjus apačioje arba viršuje magneto varinę plokštelę arba padėjus magnetą varinėje kamarėlėje. Svyruojant magnetui, jis indukuoja sroves varyje, kurios priešinasi jo judėjimui ir sustabdo jį. D'Arsonvalio galvanometruose, kur mes turime nejudomą magnetinį lauką ir judomą solenoidą, tame solenoide indukuojasi srovės, kada jis svyruoja magnetiniam lauke, ir juo smarkesnės srovės, juo stipresnė srovė eina per solenoidą. Šitos indukuotos srovės priešinasi solenoido svyravimams ir jį sustabdo. Taigi, mažindami varžą mes didinsime srovę ir stiprinsime slopinimą. Kada srovė neleidžiama per solenoidą ir norima ji greitai sustabdyti, reikia sujungti galvanometro bornai (t. y. solenoido galai) trumpa mažos varžos viela (reikia padaryti kurcšlusą, arba trumpą sujungimą). Slopinimas galvanometro reikalingas tam, kad nebūtų gaišinama laiko, kol svyruojanti dalis nusistato pusiausvyros būklėje. Be slopinimo lengvos dalys svyruotų labai ilgai.

Faraday'aus elektromagnetinę indukciją galime ryškiai demonstruoti ir patikrinti jos dėsnius su pagalba žemės induktoriaus, kurį atvaizduoja 269 piešinys. Čia mes turime solenoidą iš didelio skaičiaus N vingių izoliuotos vielos, apvyniotos apie apskritą medinį žiedą MN. Žiedas MN padėtas tam tikrose staklėse, taip kad už rankenos galima jį sukti apie gulsčią ašį, kuri sutampa su gulsčiu žiedo diametru arba, apvertus aparatą, sukti jį apie vertikalinį žiedo diametrą. Solenoido vielos galai prijungti prie dviejų metalinių plokštelių ant trumpo cilinderio iš ebonito, užmauto ant ašies žiedo (žiūr. iš dešinės pusės žiedo raidę a). Tas plokšteles liečia galai kitų dviejų metalinių elastingų plokštelių, taip kad sukant žiedą metalinė plokštelė iš pryšakio nuslenka nuo viršutinės ebonito cilinderio plokštelės a ant apatinės to cilinderio

plokštelės, tuo tarpu neparodyta piešiny metalinė plokštelė užpakaly nuslenka nuo apatinės ebonito cilinderio plokštelės ant plokštelės a. Galai abiejų šoninių plokštelių aprūpinti bornais (sraigtais), prie kurių galima prijungti vielos nuo balistinio galvanometro. Taigi, sukant žiedą MN suksis ir apvyniotos ant jo vielos galai, prijungti prie metalinių plokštelių ebonito cilinderio, bet tie galai visą laiką pasiliks prijungti prie galvanometro, ir srovė per galvanometrą eis visą laiką ta pačia kryptimi. Todel aparato dalis, pažymėta raide a, susidedanti iš trumpo ebonito cilinderio, apkloto dviem metalinėmis plokštelėmis su tarpais tarp jų, vadinasi komutatorius. Šituo aparatu galime demonstruoti magnetinę indukciją nuo žemės magnetinio lauko ir, be to, surasti inklinaciją (žiūr. 2 §). Padėsime žiedą MN gulsčiai ir taip, kad jo sukimo ašis būtų išilgai magnetinio meridiano. Tada statmenai žiedo plokštumai eis vertikalė komponenta žemės magnetizmo V. Pažymėsime vidutinį plotą, apimtą žiedo vingiais, raide S. Tad magnetinis sriautas bus $+VS$. Sukant žiedą kitės magnetinis sriautas per solenoido plotą, nes kitės magnetinių jėga linijų skaičius, kuris eina per solenoido plotą. Bet tasai magnetinių jėgų linijų skaičius pareina čia tik nuo vertikalės žemės magnetizmo komponentos V, nes gulsčia komponenta čia visą laika pasilieka lygiagretė žiedo plokštumai. Taigi, pradėję nuo gulsčios būklės žiedo MN ir staiga pasukę jį apie gulsčią ašį kampu 180^0, mes gausime žiedo būklę, prie kurios per jo solenoido vidutinį plotą (čia kalbama apie vidutinį plotą ta prasme, kad tam plotui apskaityti imamas spindulys, lygus aritmetiniam viduriui iš spindulio nuo žiedo centro ligi solenoido išvidinio paviršiaus ir iš spindulio nuo žiedo centro ligi solenoido išorinio paviršiaus) eis $-VS$ jėgu linijų todel, kad dabar sriautas reikia imti su ženklu —, nes žiedo viena ir antra pusė nėra magnetiniu atžvilgiu vienodos: magnetinės jėgų linijos iš vienos žiedo pusės išeina, į antrą įeina. Vadinasi, staiga apsukus kampu 180^0 gulsčiai padėtą žiedą MN, magnetinio sriauto variacija bus lygi $+VS - (-VS) = 2VS$. Solenoide bus indukuota elektrovaromoji jėga, lygi šitai sriauto atmainai per sekundą. Taigi, pažymėję apsukimo laiką raide t ir elektrovaromąją jėga raide E, mes turėsime: $E_1 = \frac{2VS}{t}$. Pažymėję solenoido varžą ir galvanometro varžą raide R, mes turėsim srovę $i = \frac{E_1}{R} = \frac{2VS}{Rt}$. Kitaip sakant, per balistinį galvanometrą staiga pereis elektros kiekis $Q_1 = i_1 t = \frac{2VS}{R} = k\vartheta_1$. Čia ϑ_1 reiškia galvanometro atsilenkimą, o k reiškia balistinio galvanometro konstantą (žiūr. apie balistinį galvanometrą 12 §). Vadinasi, staiga perėjęs per galvanometrą, elektros kiekis bus proporcingas magnetinio sriauto atmainai.



269 pieš.

Nustatysime dabar žiedą MN vertikaliai ir taip, kad jo plokštuma būtų statmeniška magnetiniam meridianui (Reikia pastatyti aparato lenta vertikaliai ir pasukti žiedas MN už rankenos taip, kad jo plokštuma būtų statmeniška magnetiniam meridianui). Magnetinis sriautas, kuris eina dabar per žiedo plotą, pareina nuo gulsčios žemės magnetizmo komponentos H ir yra lygus $+HS$. Staiga apsukę žiedą kampu 180^0, mes turėsime magnetinį sriautą — HS, ir magnetinio sriauto atmaina bus lygi $2HS$. Indukuota elektrovaromoji jėga čia bus lygi $E_2 = \frac{2HS}{t}$. Srovė bus lygi $i_2 = \frac{2HS}{Rt}$, ir perėjęs per balistinį

galvanometrą elektros kiekis $Q_2 = i_2 t = \frac{2HS}{R} = k. \vartheta_2$, jeigu mes raide ϑ_2 pažymėsime galvanometro atsilenkimą. Santykis perėjusių per galvanometrą elektros kiekių bus $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{2VS}{2HS} = \frac{V}{H} = tg\ I = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}$. Taigi tas santykis bus lygus santykiui vertikalės V ir gulsčios H žemės magnetizmo komponentų, o tasai santykis, kaip jau mes žinome iš 2 §, yra lygus tangentei inklinacijos. Taigi santykis balistinio galvanometro atsilenkimų bus šiuo atveju lygus tangentei inklinacijos: $\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = tg.\ J$. Vadinasi, mes čia turime pritaikymą Faraday'aus išrastos elektromagnetinės indukcijos matuoti magnetinėms inklinacijoms. Tai yra vienas iš geriausių ir patogiausių metodų magnetinei inklinacijai nustatyti. Metodas priklauso Weberiui, kuris pirmutinis šituo metodu nustatė žemės magnetinės jėgos intensingumą.

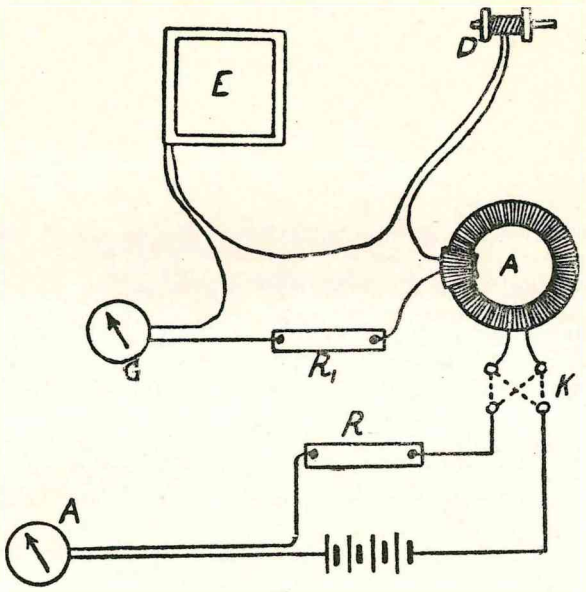
Pažymėsime čia, kad žiedo MN solenoide nebus jokios indukcijos, jeigu tas žiedas, nustatytas tuo ar kitu kampu, žiūrint žemės magnetinio lauko, slinks visą laiką lygiagrečiai sau. Taip pat nebus jokios indukcijos, jeigu žiedas bus sukamas apie vieną iš jo diametrų, kuris eina lygiagrečiai žemės magnetiniam laukui. Ir vienu ir antruoju atveju nebus jokios variacijos magnetinio sriauto per žiedo plotą, nes ir vienu ir antruoju atveju, kiek per tam tikrą laiką, sakysime, per 1 sekundą, įeis normališkai magnetinių linijų iš vienos pusės žiedo ploto, tiek pat išeis iš antros pusės ploto.

Papildydami žemės induktoriaus teoriją, pažymėsime dar trumpai, kad apskaityti visai indukcijai elektrovaromosios jėgos, sukant žemės induktorių bet kurioje būklėje, reikia solenoido viela išdėstyti į atskirus elementus ir apskaityti indukcijos elektrovaromoji jėga kiekvienam atskiram elementui. Tad jėga, veikianti visą induktorių, bus lygi sumai jėgų, veikiančių jo atskirus elementus. Eidami šituo keliu mes iš atskirų vielos elementų sudarysime atskirus solenoido vingius ir apskaitysime indukciją kiekvienam vingiui, laikydami kiekvieną vingį uždarytu ratu. Pažymėsime vingio plotą raide s ir žemės magnetinio lauko stiprumą raide F. Tegu vingio ašis sudaro su magnetine inklinacija kampą φ žemės induktoriaus pradžios būklėje ir kampą $180^0 + \varphi$ pasukus žemės induktorių iš pradžios būklės kampu 180^0. Tad vieno vingio magnetinio sriauto variacija bus $2\ s\ F \cos \varphi$. Kada solenoido ašis sudaro kampą φ su magnetinio lauko kryptimi, tai jėgų linijų skaičius, kuris eina normališkai per 1 cm^2. solenoido ploto, yra $F \cos \varphi$. Tokį pat reiškinį mes gausime magnetinio sriauto variacijai antro, trečio ir t. t. vingių. Taigi, pažymėję plotą, apimtą visais vingiais, raide S, visa indukuota elektrovaromoji jėga tokiomis sąlygomis bus proporcinga $2\ S\ F \cos \varphi$. Iš šito reiškinio aišku, kad smarkiausiai kinta magnetinis sriautas prie tokios būklės solenoido arba žiedo MN, kada jo ašis (čia kalbama ne apie sukimo ašį, bet apie solenoido geometrišką ašį, t. y. apie liniją, kuri eina statmenai žiedo MN plotui per jo centrą) sudaro kampą O su magnetinio lauko kryptimi. O kada ta ašis sudaro su magnetiniu lauku kampą 90^0, tad magnetinio sriauto atmaina yra lygi nuliui.

Taigi sukdami žemės induktorių toje ar kitoje būklėje, mes turėsime indukuotas sroves, kurios nuolat keičia savo kryptį, vienu žodžiu, turėsime kintamąsias sroves. Tokiu būdu žemės induktorius yra kintamosios srovės mašina, kuri veikia žemės magnetinio lauko dėka. Ta kintamoji srovė čia visiškai atatinka sinuso liniją ir todel ji vadinasi sinus srovė.

18 § aprašytas metodas magnetiniam geležies pralaidumui matuoti ir magnetinimo ciklui nustatyti. Bet ten buvo nurodyta, kad tasai metodas nepakankamai tikslus. Todel aprašysime čia vadinamą balistinį metodą magnetinimo matavimams atlikti. Tasai balistinis metodas priklauso Weberiui ir remiasi elektromagnetinės indukcijos dėsniais. 270 piešinys atvaizduoja šito metodo schemą. Mes čia turime žiedą A iš minkštos geležies arba špyžo ar plieno, aplamai, iš ferromagnetinės medžiagos. Tasai žiedas apvyniotas n vingiais izuoliuotos vielos. Tai bus jo pirminė špulė. Be to, ant šitos pirminės špulės apvyniota n_2 vingių antrinės špulės. Tegu žiedo vidutinis stipinas bus r (imant aritmetinį vidurį iš stipino, skaitant nuo žiedo centro ligi išorinio žiedo rato,

ir iš stipino ligi išvidinio žiedo rato). Jeigu per pirminę žiedo špulę leisime srovę i amperų, tai magnetinis laukas šitos špulės bus $H = \frac{4\pi n i}{10}$ (gausais). Cia $n = \frac{n_1}{2\pi r}$, t. y. lygus vingių skaičiui ant 1 cm.. Šitas magnetinis laukas sudarys indukciją $B = \mu H$ antrinėje špulėje. Cia μ reiškia magnetinį žiedo medžiagos pralaidumą. Kadangi antrinėje špulėje mes turime iš viso n_2 vingių, tai sudarymas lauko H bus surištas su magnetinio sriauto atmaina $n_2 B = n_2 \mu H$. Indukuota antrinėje špulėje elektrovaromoji jėga bus lygi $E = \frac{n_2 B}{t}$, jeigu mes laiką, per kurį įvyks magnetinio sriauto atmaina, pažymėsime raide t. Tad indukuota srovė bus $i = \frac{n_2 B}{Rt}$, ir sudarytas elektros kiekis bus $it = \frac{n_2 B}{R}$, jeigu raide R pažymėsime varžą viso to tinklo, arba rato, per kurį pereis tas elektros kiekis. Šitas elektros kiekis matuojamas balistiniu galvanometru G, kuris sujungtas iš eilės su antrine žiedo špule, su reguliuojamu reostatu R_1, su žemės induktoriu E ir su nedidele špule D, kuri reikalinga tam, kad būtų sumažinami, jeigu bus reikalo, galvanometro atsilenkimai. Taigi šito metodo esmė yra ta, kad per pirminę žiedo špulę leidžiama srovės i_1, i_2, i_3 ir t. t., pradedant nuo nulio, ir balistiniu galvanometru matuojami elektros kiekiai antrinėje špulėje, sudaryti indukcijomis B_1, B_2, B_3 ir t. t., atatinkančiomis šitas sroves. Kad galima būtų per pirminę špulę žiedo leisti įvairių srovių, tos špulės galai per komutatorių K iš eilės sujungti su batareja, su ampermetru A ir su reguliuojamu reostatu R. Darbas, kaip visuomet tokiais atvejais, pradedamas nuo demagnetinimo žiedo A (arba nuo suteikimo šito žiedo geležiai vadinamos ciklinės būklės). Išjungus galvanometrą G, per žiedo pirminę špulę leidžiama maksimalė srovė, nuolat komutuojant ir tuo pačiu laiku didinant varžą su pagalba reostato R. Atlikus tai, antrinė špulė sujungiama su galvanometru ir su pagalba reostato R nustatoma silpna srovė i_1 pirminėje žiedo špulėje. Komutuodami šitą srovę mes sudarysime atmainą magnetinio sriauto $2n_2B_1$ ir per balistinį galvanometrą praleisime elektros kiekį $\frac{2n_2B_1}{R}$ arba, kitaip sakant, per tinklą antrinės špulės praeis akimirkos indukcijos srovė, atatinkanti šitam elektros kiekiui. Tegu galvanometras atsilenks kampu ϑ_1. Pažymėję galvanometro balistinę konstantą raide k, mes turėsme $\frac{2n_2B_1}{R} = k\vartheta_1$, o iš to: $B_1 = \frac{R}{2n_2} k\vartheta_1$. Kadangi $B_1 = \mu H_1 = \frac{4\pi n i_1}{10}$, tai mes tokiu būdu galėsime nustatyti santykį $\frac{B}{H} = \mu$, vadinasi, galėsime apskaityti žiedo medžiagos magnetinį pralaidumą, atatinkantį magnetinamą jėgą H_1.



270 pieš.

Padidinę srovę pirminėje žiedo špulėje per i_2, mes sustiprinsime magnetinį lauką per H_2 ir atatinkamai padidinsime magnetinę indukciją per B_2, kurią mes irgi apskaitysime iš balistinio galvanometro atsilenkimo ϑ_2. Vadinasi, dabar mes turėsime lauką

$H_1 + H_2$ ir atatinkančią tam laukui indukciją $B_1 + B_2$ ir iš santykio šitų dviejų dydžių surasime naują vertę magnetiniam pralaidumui μ. Vienu žodžiu, mažindami varžą reostate R mes čia galima pamaži didinti srovę ligi tam tikro didumo, paskui mažinti ją ligi nulio didinant varžą reostate, toliau apgręžti srovę komutatorium ir didinti ją neigiama prasme ligi tam tikro didumo, toliau galima nuo — maksimumo pereiti vėl prie nulinės srovės ir pagaliau grįžti prie maksimalės srovės teigiama prasme. Vienu žodžiu, mes čia galime atlikti magnetinimo ciklą, apskaityti kiekvienai srovei H ir B ir konstruoti histerezio kilpą.

Žemės induktorius 270 piešinio schemoje reikalingas tam, kad galima būtų nustatyti balistinio galvanometro konstanta, žinant žemės magnetinį lauką (vadinasi, žinant žemės magnetinio lauko vertikalę komponentą V ir gulsčią komponentą H). Padėsime žemės induktorių E gulsčioje būklėje. Tad pasukę staiga induktorių kampu 180^0, mes turėsime magnetinio sriauto atmainą 2VS, jeigu apimtas induktoriaus vingių plotas bus S. Žemės induktorius sudaro dalį tinklo, į kurį įeina antrinė žiedo špulė, reostatas R_1, galvanometras ir maža špulė D. Pažymėsime visų šitų dalių varžą raide R. Tad elektros kiekis, kuris pereis per balistinį galvanometrą, bus lygus $\frac{2VS}{R}$. Tegu šitas elektros kiekis duos galvanometro atsilenkimą ϑ. Tad $\frac{2VS}{R} = k\vartheta$, iš to: $k = \frac{2VS}{R\vartheta}$. Išreikšdami šitą balistinę konstantą k kulonais, mes turėsime: $k = \frac{2VS}{10^8 R\vartheta}$. Žinant šitą konstantą galima apskaityti elektros kiekis kulonais bet kuriam galvanometro atsilenkimui α su pagalba reiškinio $\frac{2VS.\ \alpha}{10^8 R\vartheta}$. Graduoti balistiniam galvanometrui arba jo konstantai k nustatyti galima vietoj žemės induktoriaus E pavartoti tarpusavės indukcijos standartas ilgo solenoido pavidalu, kurio diametras bent 100 sykių mažesnis kaip ilgis (geriau, jeigu solenoido ilgis bus 200 sykių didesnis kaip jo diametras). Jeigu dabar ant paties vidurio to solenoido būtų apvyniota keletas vingių, sakysime, n_1 vingių antrinės špulės, tai šitų dviejų špulių tarpusavės indukcijos koeficientas bus: $M = 4\pi.\ \pi r^2.\ nn_1 = 4\pi^2 r^2.\ n\ n_1$ absoliutiniais vienetais, arba padalijus šitą reiškinį į 10^9, gausime šitą koeficientą išreikštą henry'ais. Sujungus šito standarto pirminę špulę su batareja ir reostatu iš eilės ir antrinę špulę iš eilės su antrine žiedo špule, su balistiniu galvanometru, su reostatu R ir su maža špule D, nustatoma pirminėje špulėje standarto tam tikra srovė i amperų. Komutuodami šitą srovę gausime magnetinio sriauto atmainą 2Mi ir indukuotą elektros kiekį kulonais $\frac{2Mi}{10^8 R}$. Tasai elektros kiekis duos galvanometro atsilenkimą ϑ, taip kad $\frac{2Mi}{10^8 R} = k\vartheta$, iš to $k = \frac{2Mi}{10^8 R\vartheta}$. Graduojant galvanometrą reikia turėti galvoje, kad balistinė konstanta pareina nuo varžos, ir todel, ar mes nustatome konstantą su pagalba žemės induktoriaus, ar su pagalba tarpusavės indukcijos standarto, visuomet galvanometro tinkle turi būti antrinė špulė žiedo A, reostatas R_1 ir maža špulė D. O pirminė špulė žiedo A, atliekant konstantos nustatymą, turi būti išjungta iš batarejos tinklo.

21 §. Rumkorfo induktorius. Kondensatoriaus išlydis. Kintamoji srovė didelio dažnumo. Impedansas. Tesla transformatorius. Telefonas ir mikrofonas.

Uždarant ir pertraukiant srovę pirminėje špulėje geležinio žiedo, kuriuo mes naudojamės magnetinimo ciklui (žiūr. 270 pieš.), antrinėje to žiedo špulėje susidaro indukcijos elektrovaromoji jėga $E = M\frac{di}{dt} = 4\pi\frac{\mu A}{l} n_1 n_2 \frac{di}{dt}$. Čia M reiškia tarpusavės induk-

cijos koeficientą, kuris yra lygus $4\pi \frac{\mu A}{l} n_1 n_2$, o $\frac{di}{dt}$ reiškia srovės variaciją pirminėje

špulėje. Vadinasi, juo didesnė bus srovės variacija pirminėje špulėje ir juo didesnis bus tarpusavės indukcijos koeficientas M, juo didesnė bus indukuota elektrovaromoji jėga antrinėje špulėje. Kad būtų gaunamos didesnės srovės variacijos pirminėje špulėje, reikia, aplamai, toje špulėje turėti kiek galima stipresnė srovė. Taigi šita pirminė špulė reikia sudaryti iš nedidelio skaičiaus vingių n_1 storesnės izoliuotos vario vielos. O n_2 čia reiškia vingių skaičių antrinės špulės. Iš elektrovaromosios jėgos lygties aišku, kad juo didesnis bus tas vingių skaičius n_2, juo didesnė bus elektrovaromoji jėga, juo augštesnio įtempimo bus srovė šitoje antrinėje špulėje. Taigi, norint gauti smarkų efektą, antrinė špulė reikia sudaryti iš didelio skaičiaus pavijonių plonos izoliuotos vario vielos. Kadangi šita viela turės didelę varžą, tai antrinėje špulėje veiks, sulyginti, silpna srovė prie didelio įtempimo. Vadinasi, mes čia turėsime aparatą, su kurio pagalba elektros energija, sulyginti, nedidelio įtempimo (pirminėje špulėje) bus paversta elektros energija didelio įtempimo (antrinėje špulėje). Užtat antrinėje špulėje mes gausime silpnesnę srovę, kaip ta srovė, kuri veikia pirminėje špulėje. Kitaip ir negali būti, nes einant energijos išlaikymo dėsniu elektros energija pirminėje špulėje turi būti lygi elektros energijai Ei antrinėje špulėje (tikrenybėje šita energija antrinėje špulėje bus kiek mažesnė, kaip pirminėje špulėje todel, kad jos dalis bus išsklaidyta šilimos pavidalu). Čia mes turime tą patį, kaip ir mašinose, kur mes iš mažos jėgos gauname didelę jėgą atatinkamai sumažėjus greitumui arba atbulai. Taigi toksai geležies žiedas su dviem špulėm vadinasi elektros energijos transformatorius. Aišku, kad veikiant, sulyginti, silpnai srovei didelio įtempimo antrinėje špulėje, pirminėje špulėje bus indukuota žymiai silpnesnė elektrovaromoji jėga, bet užtat srovė bus atatinkamai stipresnė.

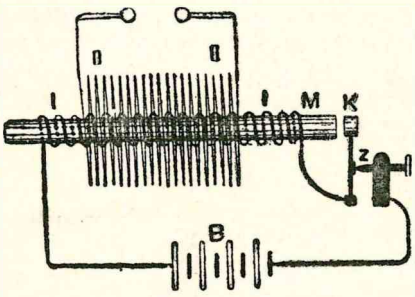
Paimsime pavyzdį. Pirminė špulė turi $n_1 = 40$ vingių, antrinė špulė $n_2 = 20.000$ vingių. Geležinio žiedo pralaidumas $\mu = 1000$. Apskritimas vieno vingio pirminės špulės ir, vidinasi, apskritimas geležies branduolio yra lygus 12 cm., taip kad to geležies branduolio spindulys $r = \frac{12}{2\pi} = \frac{6}{\pi}$ ir jo skerspjūvis $A = \pi . \frac{36}{\pi^2} = \frac{36}{\pi}$. O spindulys žiedo rato yra keturis sykius didesnis, kaip spindulys geležies branduolio. Vadinasi, tas spindulys yra lygus $\frac{24}{\pi}$, ir todel žiedo apskritimas l yra lygus $2\pi \frac{24}{\pi} = 48$. Sakysime dar, kad srovės variacija $\frac{di}{dt} = 30.000$. Tad elektrovaromoji jėga antrinėje špulėje bus lygi

$$4\pi \frac{\mu A}{l} n_1 n_2 \frac{di}{dt} = 4\pi . \frac{1000}{48} . \frac{36}{\pi} . 40 . 20.000 . 30.000 = 1000 . 3 . 40 . 20.000 . 30.000 = 72^{12}$$

absoliutinių elektromagnetinių vienetų arba, padalijus į 10^8, 720.000 voltų. Taigi toks bus įtempimas tarp galų antrinės špulės ir todel tarp tų galų susidarys kibirkštis 20 cm. ilgio. Reiškinys $\frac{\mu A}{l}$ yra magnetinis žiedo laidumas (žiūr. 17 §). Taigi imdami geležį didesnio magnetinio pralaidumo μ, kiek galint stipresnę srovę pirminėje špulėje, ir atatinkamai padidinę antrinės špulės vingių skaičių, mes galime gauti įtempimą tarp galų antrinės špulės milijoną ir daugiau voltų, taip kad tarp tų galų šoks kibirkštys metro ilgio. Aplamai, indukuotos elektrovaromosios jėgos pirminėje ir antrinėje špulėse santykiuos kaip tų špulių vingių skaičiai. Kitame paragrafe mums teks kalbėti apie reikšmę transformatoriaus perdavimui elektros energijos iš vienos vietos į antrą vietą, kuri gali būti atokume keleto šimtų kilometrų nuo pirmos vietos. O čionai mums rūpės transformatorius, kurį išrado Rumkorfas ir kuris todel vadinasi Rumkorfo spyruoklis arba Rumkorfo induktorius, nes tasai aparatas turi didelės reikšmės laboratorijoje.

271 piešinys atvaizduoja schemą Rumkorfo induktoriaus. Mes čia turime geležies branduolį apvyniotą, sulyginti, nedideliu skaičiumi vingių storesnės izoliuotos vario vielos. Tai bus pirminė induktoriaus špulė. Šita pirminė špulė apklota plonu sluogsniu

izoliuojančios medžiagos (kaučuku), o šitas kaučuko sluogsnis apvyniotas dideliu skaičium vingių plonos izoliuotos vielos. Tai bus antrinė induktoriaus špulė. Galai tos antrinės špulės prijungti prie dviejų metalinių rutuliukų, arba bornų. Prie tų bornų prijungiami izoliuoti misinginiai arba nikeliniai rutuliai, tarp kurių ir eina išlydis kibirkštimis. Esant srovės variacijoms pirminėje špulėje, antrinėje špulėje bus indukuota kintamoji elektrovaromoji jėga daug didesnė kaip elektrovaromoji jėga pirminėje špulėje.



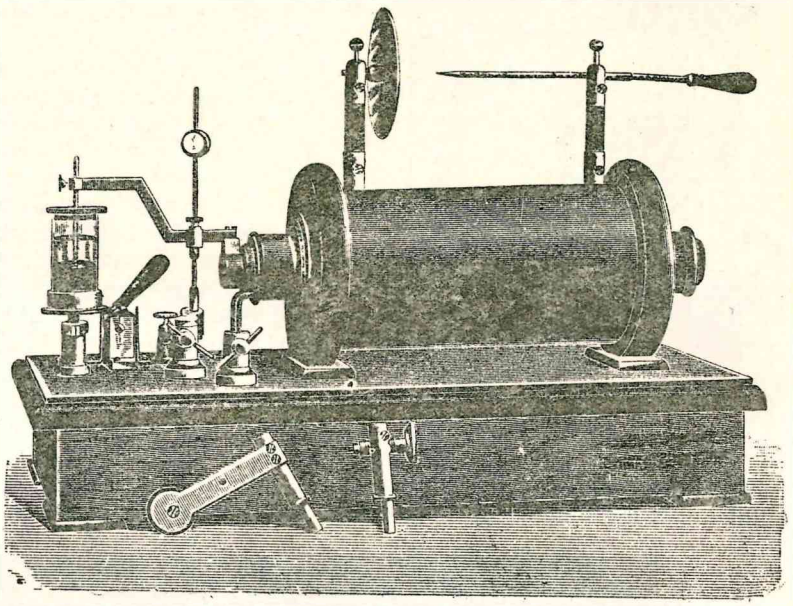
271 pieš.

Geležies branduolis čia reikalingas tam, kad būtų sustiprintas magnetinis sriautas, kaip tai aišku iš augščiau duotos formulos žiedui. Tiktai čia veikimas bus kiek silpnesnis, nes magnetinės jėgų linijos eis iš vieno galo geležies šerdies į antrąjį išorėj ir, vadinasi, silpnins magnetinimą geležies, tuo tarpu turint geležinį žiedą visos magnetinės jėgos bus uždarytos kilpos žiede. Bet šita yda neturi čia didelės reikšmės. Geležies branduolis niekuomet nereikia imti masingo geležies cilinderio pavidalu, nes tada pirminė špulė indukuos Foucault'o sroves geležyje, ir todel gan žymi elektros energijos dalis virs šilima. Taigi tas geležies branduolis sudarytas čia iš pluošto geležies vielų arba iš pluošto geležies plokštelių. Gerai, jeigu tos plokštelės arba vielos išorėj šiek tiek aprūdiję, nes rūdžių sluogsniu vielos bus izoliuotos viena nuo kitos, o tai dar labiau apsunkins susidarymą Foucault'o srovių.

Srovės variacijos pirminėje špulėje sudaromos čionai uždarymu ir pertraukimu srovės iš batarejos B, kuris uždarymas ir pertraukimas vyksta čia automatiškai. Srovės pertraukėjas K čia yra plieno plokštelė, kuri baigiasi viršuj trumpu minkštos geležies cilinderiu. Tos plokštelės vidury (žiūr. Z) išskaptuota duobelė, kurios paviršius platinuotas. Šios duobelės remiasi platinuotas sraigto aštrus galas Z. Metalinis stulpelis, per kurį eina sraigtas, prijungtas prie vieno polio batarejos, o antras batarejos polis prijungtas prie vieno galo pirminės špulės, o tos špulės antras galas prijungtas prie metalinės plokštelės ZK. Toje būklėje, kaip rodo 271 piešinys, per pirminę špulę eina srovė iš batarejos. Geležies branduolis tampa magnetu ir pritraukia trumpą cilinderį K. Tad metalinė plokštelė atsilenkia į kairę pusę ir vietoje Z susidaro tarpas. Vadinasi, srovė pertraukiama. Bet tada geležis nustoja magnetizmo, cilinderis K šoka atgal ir todel vietoje Z vėl susidaro kontaktas, vėl eina srovė per pirminę špulę, vėl geležies branduolis magnetinasi, pritraukia K, vėl susidaro tarpas ir t. t. Vadinasi, metalinė plokštelė su galu K vibruoja kaip aprašytas 19 § Neefo plaktukas, ir vibruodama tai uždaro srovę pirminėje špulėje, tai pertraukia srovę. Uždarant srovę pirminėje špulėje, einant Lenzo dėsniu, antrinėje špulėje indukuojasi elektrovaromoji jėga, ir, vadinasi, susidaro srovė priešingos krypties, kaip pirminėje špulėje, o pertraukiant srovę pirminėje špulėje, antrinėje špulėje susidaro elektrovaromoji jėga ir srovė tos pačios krypties, kaip pirminėje špulėje. Be to, kaip jau mes matėme uždarant srovę pirminėje špulėje, del tos špulės saviindukcijos ta srovė ne išsyk ir, sulyginti, pamaži pasiekia maksimumą ir, aplamai, yra silpnesnė del saviindukcijos, kaip pertraukiant srovę. Vadinasi, srovės atmaina ir todel magnetinio sriauto atmaina pertraukiant srovę yra žymiai didesnė kaip uždarant srovę ir kaipo išdava pertraukiant srovę pirminėje špulėje, antrinėje špulėje indukuojasi elektrovaromoji jėga žymiai didesnė, kaip uždarant srovę pirminėje špulėje. Todel įtempimas tarp metalinių rutuliukų, prie kurių prijungti galai antrinės špulės, uždarant srovę pirminėje špulėje nepasiekia tokio didumo, kad galėtų susidaryti kibirkštis tarp šitų rutuliukų, ir kibirkštys tarp jų šoka tiktai pertraukiant srovę pirminėje špulėje. Vadinasi, išlydis kibirkštimis čia eina visuomet viena kryptimi. Taigi galima pasakyti, kad induktoriaus veikimas remiasi pirminės špulės saviindukcijos ekstrasrovėmis. Kada vietoje Z susidaro tarpas ir srovė pirminėje špulėje tokiu būdu pertraukiama, tai įtempimo tarp galų tos pirminės špulės pakanka, kad susidarytų kibirkštėlė tarpe Z, o šita kibirkštėlė, tarytum laidininkas, užvilkina srovės

pertraukimą. Tai mažina srovės variacijas pirminėje špulėje ir atatinkamai silpnina elektrovaromąją jėgą antrinėje špulėje, nekalbant jau apie tai, kad kibirkštėlės tarpe Z galų gale sutirpina platiną duobelėje ir ant sraigto galo ir oksiduoja metalą, dažniausiai misingį. Induktorius tada paprastai nustoja veikęs. Kad būtų sumažintos šitos kibirkštys lygiagrečiai (šuntu) tarpui Z prijungiamas kondensatorius tam tikro talpumo. Kondensatorius ne tik mažina kibirkštis ir trumpina laiką pirminės srovės pertraukimo, bet dar sudaro smarkesnes srovės variacijas tuo, kad priešingos elektros nuteka į kondensatorių ir užtaiso jį. Tokiu būdu kondensatorius padeda gauti greitesnes ir stipresnės srovės variacijas ir kaipo išdava žymiai didesnę elektrovatomąją jėgą antrinėje špulėje.

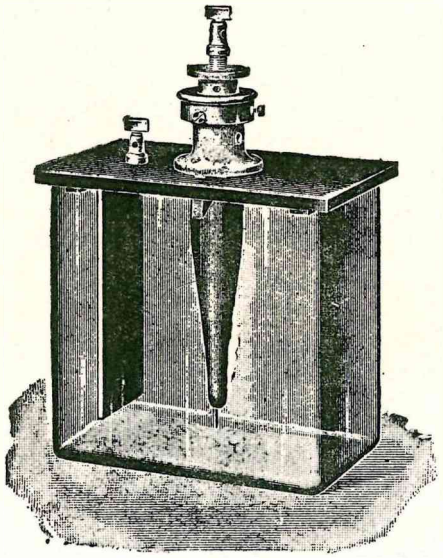
272 piešinys atvaizduoja didesnį Rumkorfo induktorių su gyvojo sidabro pertraukėju, kuris turi tą pirmenybę prieš aprašytą pertraukėją, kad pertraukia ir uždaro srovę su didesniu dažnumu ir todel padeda susidaryti didesnei elektrovaromajai jėgai antrinėje špulėje. Veikimas šito gyvojo sidabro pertraukėjo aiškus iš piešinio. Mes čia turime stiklo indą su metaliniu dugnu. Į tą indą įpiltas gyvasai sidabras ir viršuj gyvojo sidabro spiritas, kerosinas arba kits koks skystas dielektrikas. Gyvojo sidabro paviršių liečia metalinio stiebo galas. Antrasis to stiebo galas sujungtas su vienu petimi laužtos svirties. Ant antro peties galo randasi trumpas geležinis cilinderis ties geležies branduoliu induktoriaus. Einant srovei per induktoriaus pirminę špulę antras petis svirties slenka žemyn, o pirmasai petis kįla augštyn, stiebas išeina iš gyvsidabrio, ir tokiu būdu srovė pertraukiama. Tada antras petis grįžta į savo pirmykščią būklę, pirmasai petis slenka žemyn, stiebas vėl paliečia gyvąjį sidabrą ir vėl eina srovė per pirminę špulę ir t. t., vienu žodžiu, svirtis svyruoja su dideliu dažnumu.



272 pieš.

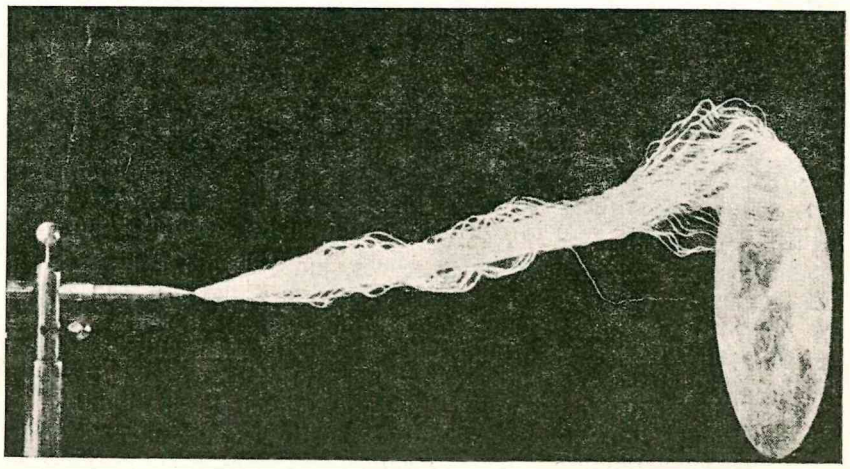
Juo dažnesnis pertraukimas pirminės srovės, juo didesnis įtempimas susidaro tarp galų antrinės špulės ir juo ilgesnės kibirkštys šoka tarp tų galų. Dažnai, kaip rodo 272 piešinys, teigiamas antrinės špulės galas prijungiamas prie stiebo su smailigaliu, o neigiamas prie kito stiebo su skrituliu ant jo galo. Norint gauti dar didesnį pertraukimo dažnumą, vartojamas Wehnelto elektrolitinis pertraukėjas (žiūr. 273 pieš.). Tasai pertraukėjas susideda iš dviejų elektrodų, įmerktų į sieros rūgštį tankumo 1,2 (30%). Vienas iš tų elektrodų švino plokštelė, o antras elektrodas platinos viela 1 mm. storumo. Ta platinos viela randasi porcelano vamzdyje, kurio apatinis galas susiaurintas, taip kad susidaro kanalas truputį didesnio diametro kaip 1 mm. Šitas Wehnelto pertraukėjas sujungiamas taip: batarejos + polis prijungiamas prie platinos elektrodo, švino plokštelė prijungiama prie vieno galo pirminės induktoriaus špulės, o antras galas tos špulės prijungiamas prie batarejos — polio (vadinasi, platina visuomet buna anodu, o švinas katodu). Vartojant Wehnelto pertraukėją reikia turėti pirminio įtempimo ne mažiau kaip 60 voltų. Bet galima imti ir 110 ir 220 voltų. Imant 220 voltų reikia

turėti reostatas, kad neitų per stipri srovė, nes tada pertraukėjas neveiks ir, be to, dar tirps platina. Einant srovei ant švino pasirodo vandenilis, o ant platinos galo deguonis. Be to, del labai didelio srovės tankumo ant to galo susidaro sluogsnis smarkiai įkaitintų garų (mišinys deguonio ir elektrolito garų), taip kad tas galas šviečia violetine šviesa. Šitas garų sluoksnis ir pertraukia srovę. Bet tada garų sluogsnis kondensuojasi, vėl susidaro kontaktas tarp platinos stifto ir elektrolito, vėl eina srovė, vėl susidaro įkaitintų garų sluogsnis ir t. t. Reikalui esant su pagalba sraigto, parodyto viršuj porcelano vamždžio, galima platinos galas elektrolite padaryti ilgesnį arba trumpesnį išvarant jį iš vamzdžio arba įtraukiant jį į vamzdį ir tokiu būdu reguliuoti pertraukimo dažnumą. Su Wehnelto pertraukėju galima pasiekti dažnumą ligi 200 ir daugiau per sekundą. Aišku, kad vartojant Wehnelto pertraukėją kondensatorius nereikalingas ir net kenksmingas, Todel turint induktorių su kondensatorium reikia šitas kondensatorius išjungti, jeigu norima varyti induktorius su Wehnelto pertraukėju. 274 piešinys atvaizduoja gražią triukšmingą smarkiai išsišakojusią ilgą kibirkštį, kokią galima gauti turint didelį induktorių ir vartojant Wehnelto pertraukėją.



273 pieš.

Dideli induktoriai, kurie duoda kibirkštį 100 cm. ir didesnio ilgio, turi antrinę špulę iš labai didelio skaičiaus plonos vielos vingių, taip kad tos vielos ilgis, ištiesus ją, būna 300 — 400 kilometrų. Kadangi čia įtempimas pasiekia milijoną voltų ir daugiau, tai izolacija ne tik tarp atskirų sluogsnių antrinės špulės vielos, bet ir tarp atskirų sekcijų vertikaliniame pjūvyje turi būti kuo rūpestingiausia, kad tarp tų atskirų sluogsnių nesusidarytų kibirkštis ir nesu-

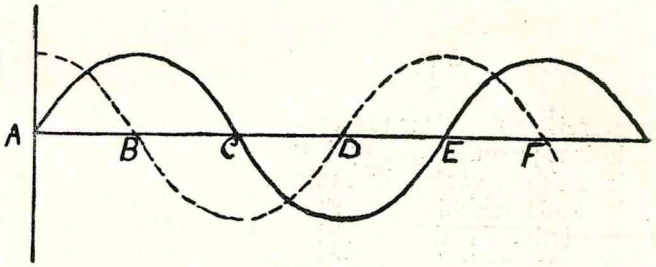


274 pieš.

degintų vielos. Ir atskiri vielos sluogsniai ir sekcijos vertikaliniame pjūvyje izoliuojami vienas nuo antro ebonito sluogsniais.

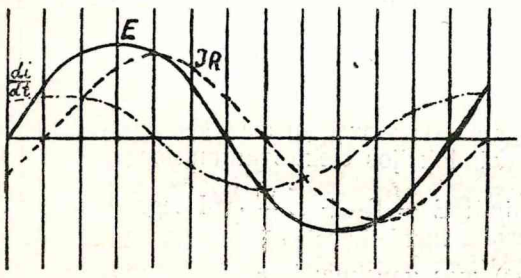
Kintamoji elektrovaromoji jėga duoda ir kintamąją srovę tos pačios fazės, t. y. maksimumas elektrovaromosios jėgos atatinka maksimumą srovės, minimumas elek-

trovaromosios jėgos atatinka minimumą srovės, kaip tai reikalauja Ohmo dėsnis $i = \frac{E}{R}$. Bet šitie santykiai veikia tik tada, kada laidininkų sistema, kurioje veikia kintamoji elektrovaromoji jėga, yra laisva nuo indukcijos (t. y. sistema, kurioje nėra nei saviindukcijos, nei tarpusavės indukcijos). Rumkorfo induktoriuje ir, aplamai, transformatoriuose veikia tarpusavė indukcija ir to išdava reiškiasi skirtumas fazių tarp pirminės kintamosios elektrovaromosios jėgos ir pirminės kintamosios srovės iš vienos pusės ir antrinės arba indukuotos elektrovaromosios jėgos iš antros pusės. Tai rodo 275 piešinys, kur tiršta kreivoji atvaizduoja kintamąją pirminę srovę, o punktyru nupiešta kreivoji tos srovės indukuotos elektrovaromosios jėgos antrinėje špulėje. Čia ir variacijos pirminės srovės ir antrinės elektrovaromosios jėgos vyksta kaipo sinus funkcija,



275 pieš.

ir todel abudu tie vektoriai išreikšti čia sinus kreivomis. Smarkiausia pirminės srovės variacija vyksta taškuose abscisos ACE. Taigi šituose taškuose vyksta smarkiausia atmaina magnetinio sriauto ir tiems taškams atatinka maksimumai indukuotos antrinėje špulėje elektrovaromosios jėgos. O taškuose B, D ir F pirminės srovės variacija yra lygi nuliui ir todel indukuota elektrovaromoji jėga antrinėje špulėje tuose taškuose (t. y laikais, kuriuos duoda šitie taškai) yra lygi nuliui. Vadinasi, turint kintamąją srovę transformatoriuje, pirminė srovė ir antrinė elektrovaromoji jėga skiriasi fazėje per $\frac{\pi}{2}$.



276 pieš.

Turint uždarytą laidininką su gan žymia saviindukcija, pavyzdžiui, pirminė špulė transformatoriaus, kada antrinė jo špulė atdara, ir veikiant tokį laidininką kintamąja elektrovaromąja jėga, jame susidaro saviindukcijos elektrovaromoji jėga, kuri visuomet veikia priešingai pridėtai elektrovaromajai jėgai, taip kad efektyvi (tikra) elektrovaromoji jėga visuomet yra lygi algebrinei sumai pridėtos elektrovaromosios jėgos (išorėje veikiančios elektrovaromosios jėgos) ir indukuotos elektrovaromosios jėgos. Kaip rodo 276 piešinys, tarp šitų trijų vektorių reiškiasi fazių skirtumas, maksimumai ir minimumai indukuotos elektrovaromosios jėgos (kreiva pažymėta ženklu $\frac{dJ}{dt}$) ir efektyvės elektrovaromosios jėgos (kreiva pažymėta ženklu JR) nesutampa su maksimumais ir minimumais išorėj veikiančios elektrovaromosios jėgos (tirštai nupiešta kreiva, pažymėta ženklu E). Kadangi, kaip jau mes matėme, uždarymas arba stiprinimas srovės tinkle su saviindukcija sudaro saviindukcijos elektrovaromąją jėgą, kuri trukdo srovės susidarymą ir todel tą srovę silpnina, lygiai kaip pertraukimas srovės arba jos silpninimas sudaro saviindukcijos elektrovaromąją jėgą, kuri stengiasi tą srovę palaikyti ir todel ją stiprina, tad aišku, kad srovė, veikiant laidininke kintamajai elektrovaromajai jėgai, pasiekia maksimumą vėliau, kaip veikianti elektrovaromoji jėga, taip pat ir minimumą, kaip tai galima suvokti iš 276 piešinio. Šitas fazių skirtumas tarp veikiančios kintamosios elektrovaromosios jėgos ir kintamosios srovės arba pasivėlavimas srovės yra saviindukcijos veikimo išdava. Jeigu pirminė špulė, sakysime, elektromagneto špulė turi didelį sauin-

dukcijos koeficientą, tai saviindukcijos elektrovaromoji jėga gali būti toki didelė, kad efektyvė (tikra) elektrovaromoji jėga gali pasidaryti lygi nuliui. Efektas bus tas, kad, tarytum, varža špulės darosi be galo didelė. Taigi taikant Ohmo dėsnį sistemai laidininkų su saviindukcija reikia taip pat skaitytis su menamuoju padidėjimu elektros varžos del veikimo saviindukcijos elektrovaromosios jėgos, kaip ir taikant Ohmo dėsnį sistemai, kurioje veikia polarizacijos elektrovaromoji jėga (kada elektrodai einant srovei per elektrolitą polarizuojasi). Pirmuoju atveju mes turėsime santykį $i = \frac{E - L\frac{di}{dt}}{R}$, o antruoju atveju $i = \frac{E - E_1}{R}$. Cia $L\frac{di}{dt}$ reiškia saviindukcijos elektrovaromąją jėgą, o E_1 reiškia polarizacijos elektrovaromąją jėgą. Vienu atveju saviindukcija, o antru atveju polarizacija gali sustabdyti srovę, ir todel abiem atvejais atrodo taip, kad, tarytum, didėja elektros varža. Suprantama, kad šitas saviindukcijos efektas bus ypatingai smarkus tada, kada laidininke su saviindukcija veikia stipri srovė didelio dažnumo arba trumpo periodo. Todel, norėdami nustatyti santykius tarp veikiančių čia vektorinių dydžių, pasinaudosime kondensatoriaus išlydžiu, kuris, kaip jau minėta 9 §, charakterizuojasi periodiškumu ir labai dideliu dažnumu, nes kibirkštis trunka labai trumpą laiką ir, vadinasi, išlydis kibirkštimis susideda iš labai greitų oscilacijų.

Leydeno bonkos arba, aplamai, kondensatoriaus išlydžio problemą teoretiškai išsprendė 1853 m. W. Thomsonas. Leydeno bonkos išlydžiui kiekvienu momentu veikia lygtis $i = -\frac{dQ}{dt}$, arba $dQ = -i\,d\,t$. Čia dQ reiškia elektros kiekį kiekvienu momentu sutaupytą bonkos pamušaluose. Integruodami šitą lygtį mes gausmie $Q = Q_0 - \int_0^t i dt$, ir žinodami Q (elektros kiekį Leydeno bonkos) ir talpumą C surasime veikiantį įtempimą arba potencialų skirtumą $\frac{Q}{C} = E$. Pažymėsime varžą iškroviklio arba laidininko, su kurio pagalba išlydoma bonka, raide R, ir saviindukcijos koeficientą raide L. Kadangi vykstant išlydžiui mes laidininke turėsime kintamąją srovę, tai santykis tarp potencialų skirtumo arba elektrovaromosios jėgos E, saviindukcijos elektrovaromosios jėgos ir varžos R bus išreikštas žinoma jau mums lygtimi: $E = Ri + L\frac{di}{dt}$. Integruodami šitą lygtį ir išspręsdami ją del i (kintamoji srovė) mes gausime: $i = \frac{E}{pL} e^{-mt} \sin pt$. *).

Taigi srovė bus kintamoji ir bus sinus funkcija laiko. Čia $m = \frac{R}{2L}$ ir $p = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ arba, kada R labai mažas sulyginti su L, $p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Koeficientas m liečia viso išlydžio laiką, o koeficientas p išreiškia srovės variacijų greitumą. Iš 9 § mes jau žinome, kad kondensatoriams išlydžio oscilacijų periodas $T = 2\pi\sqrt{LC}$,

*) W Thomsonas operuoja su energijos lygtimi: $Ei = Ri^2 + Li\frac{di}{di}$. Čia Ei bonkos energija, kuri, einant išlydžiams, virsta Joulio šilima Ri^2 ir elektromagnetine ennrgija $Li\frac{di}{dt}$. Kadangi Ei nyksta, tai tas dydis turi—ženklą. Imant domėn $E = \frac{Q}{c}$ ir $i = \frac{dQ}{dt}$ mes turėsime: $\frac{d^2Q}{di^2} + \frac{R}{L}\cdot\frac{dQ}{dt} + \frac{1}{LC}\cdot Q = 0$. Šita lygtis išsprendžiama, kaip slopinamų švytavimų lygtis (žiūr. „Bangų mokslo" 19 pusl.), ir duoda panašių išvadų.

kitaip sakant, dažnumas oscilacijų yra lygus $\frac{1}{T.} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = n$. Taigi $\frac{p}{2\pi} = n$, arba $p = 2\pi n$.

Mes jau minėjome 9 § ir pamatysime vėliau, kad periodinis išlydis Leydeno bonkos yra židinys ypatingų bangų, kurios skleidžiasi erdvėje, nelyginant kaip stygos vibracijos yra židinys garso bangų, kurios skleidžiasi ore. Greitumas bangų, kurių židinys yra kondensatoriaus išlydis, gali būti išreikštas tokia formula: $V = \sqrt{\frac{1}{\mu K}}$. Čia μ reiškia magnetinį pralaidumą mediumo, kuriame skleidžiasi bangos, o K to mediumo dielektrinę konstantą. Taigi bangų ilgis

$$\lambda = \frac{V}{n} = \sqrt{\frac{1}{\mu K}} : \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 2\pi\sqrt{\frac{LC}{\mu K}}.$$

Aplamai, mes čia turime bangas labai trumpo periodo, t. y. labai didelio dažnumo, nes visas išlydis kondensatoriaus, kuris susideda iš eilės oscilacijų, tęsiasi apie 1—10 milijoninę sekundos dalį. Vadinasi, mes čia turime kintamąją srovę labai didelio dažnumo. Pasirodo, kad tokiomis sąlygomis elektros varža yra žymiai didesnė kaip laidininko paprasta varža R_0. Lordas Rayleigh'as parodė, kad vykstant labai greitoms oscilacijoms galima apskaityti laidininko varža iš formulos: $R = \sqrt{\pi n \mu_0 l R_0}$. Čia R_0 reiškia to paties laidininko varžą nuolatinei srovei, l reiškia laidininko ilgį, μ_0 reiškia laidininko magnetinį pralaidumą ir n kintamosios srovės, arba oscilacijų, dažnumą. Vadinasi, veikiant kintamajai srovei laidininke, to laidininko varža smarkiai didėja.

Kintamoji srovė galima sudaryti įvairiais būdais, sakysime, sukant solenoidą magnetiniam lauke stiprumo H. Tad indukcijos elektrovaromoji jėga gali būti išreikšta tokia lygtimi: $E = \frac{d}{dt}(nAH\cos\vartheta) = Ri + \frac{d}{dt}(Li)$. Cia A reiškia solenoido apimtą plotą, n sūkių skaičių per sekundą, ir ϑ kampą, kurį sudaro solenoido ašis su magnetinio lauko kryptimi. R reiškia solenoido paprastą varžą ir L jo saviindukcijos koeficientą. Atlikę šitos lygties diferenciaciją, mes gausime:

$$nAH\sin\vartheta\frac{d\vartheta}{dt} = Ri + L\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{dt} = L\frac{di}{dt} + i\left(R + \frac{dL}{dt}\right).$$

Priimsime $R^1 = R + \frac{dL}{dt}$. Taigi tokiu atveju indukuota elektrovaromoji jėga kinta, einant sinuso funkcija, ir todel mes galime parašyti tokią lygtį: $L\frac{di}{dt} + R^1 i = E_0 \sin pt$. Čia $p = 2\pi n$. Integruodami šitą lygtį ir išspręsdami ją del srovės i mes gausime:

$$i = \frac{E_0 \sin(pt - \varepsilon)}{\sqrt{R'^2 + (pL)^2}} = \frac{E_0 \sin(2\pi nt - \varepsilon)}{\sqrt{R'^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}}.$$

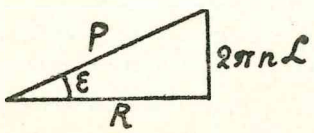
Šitoje lygtyje ε reiškia atsilikimą srovės nuo elektrovaromosios jėgos arba paprastai fazių skirtumą tarp srovės ir elektrovaromosios jėgos. Šitą dydį ε galima surasti iš lygties $\operatorname{tg}\varepsilon = \frac{2\pi n L}{R^1}$; R^1 skiriasi nuo paprastos elektros varžos nuolatinės srovės tik tada, kada sukantis solenoidui magnetiniam lauke iš jo išjungiamos ir įjungiamos atskiros dalys, kaip jau apie tai minėta augščiau, t. y. kada mes turime armatūrą su komutatorium. Bet dažniausiai tasai $R^1 = R$, t. y. paprastai varžai. Augščiau minėta lygtis srovei i yra lygtis Ohmo dėsnio, tik tuo skirtumu, kad vietoj varžos R vardiklyje mes turime dydį $\sqrt{R^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}$, vadinasi, didesnį dydį kaip paprasta varža R. Šitas dydis vadinasi impedansas ir jis reiškia tą padidintą varžą, apie kurią kalbėta augsčiau ir kuri susidaro veikiant kintamajai srovei laidininke su saviindukcija. Aišku, kad tas impedansas bus juo didesnis, juo bus didesnis saviindukcijos koeficientas L ir juo dides-

nis bus kintamosios srovės dažnumas n. Žodis „impedansas“ pareina nuo anglų žodžio „impede“, lotynų „impedio“, kuris reiškia „kliudyti“ „trukdyti“ („stabdyti“). Santykiai tarp paprastos varžos R, tarp dydžio $2\pi n L$ ir impedanso išreiškiami paprasta schema tiesiakampio trikampio (žiūr. 277 pieš.). Čia hipotenuzė atvaizduoja impedansą P, vertikalis katetas dydį $2\pi n L$ ir bazė paprastą varžą, o kampas ε, kurį sudaro hipotenuzė su baze, duoda atsilikimą (pasivėlavimą) srovės nuo elektrovaromosios jėgos arba fazių skirtumą. Ta pati schema atvaizduoja santykius tarp veikiančios išorėj elektrovaromosios jėgos (tiesiakampio trikampio hipotenuzė), tarp atkreiptos prieš ją indukuotos elektrovaromosios jėgos (vertikalis katetas) ir tarp efektyvės elektrovaromosios jėgos (trikampio bazė). Šitie santykiai veikia visuomet, kada tuo ar kitu būdu sudaroma kintamoji srovė solenoide. Taigi taikant Ohmo dėsnį kintamajai srovei reikia visuomet vietoj paprastos varžos R imti impedansas arba padidintą varža, kuri bus juo didesnė, juo didesnis kintamosios srovės dažnumas n ir juo didesnis saviindukcijos koeficientas L. Paaiškinsime šitą dalyką pavyzdžiu. Tegu pirminė špulė sudaro žiedą skerspjūvio 11,46 cm.^{2} ir tegu to žiedo stipinas bus 7,64. Tad jo ilgis $l = 48$ cm. Tokiomis sąlygomis solenoido saviindukcijos koeficientas $L = 4\pi \frac{\mu A}{l} \cdot n_1^2$. Sakysime, geležies pralaidumas $\mu = 1000$ ir vingių skaičius $n_1 = 40$. Tad saviindukcijai mes turėsime:

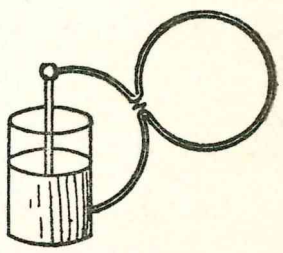
$$L = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 1000 \cdot 11{,}46}{48} \cdot 40^2 = 48.10^5.$$

Tegu šito solenoido paprasta varža $R = 1$ ohmas $= 10^9$ absoliutinių vienetų ir tegu kintamosios srovės dažnumas bus 100 (arba periodas $^1/_{100}$ dalis sekundos). Tad impedansas lygus $\sqrt{10^{18} + \pi^2 \cdot 48^2 \cdot 10^{10} \cdot 10^4} = 1{,}81 \cdot 10^9$ absoliutinių vienetų arba 1,81 ohmų. Taigi tokiomis sąlygomis varža padidės gangreit du sykiu.

Sakysime dabar, kad apie pirminę špulę apvyniota antrinė špulė paprastos varžos 0,1 ohmo ir sudaranti iš viso vėl 40 vingių. Veikiant kintamajai srovei pirminėje špulėje, bus indukuota kintamoji srovė ir antrinėje špulėje. Tos antrinės srovės periodas bus toks pat kaip pirminės srovės, bet ji visuomet bus atkreipta priešingai pirminei srovei, ir todel silpnins tą pirminę srovę ir kaipo išdava tokiomis sąlygomis impedansas pirminės srovės bus mažesnis kaip veikiant tik vienai pirminei špulei. Tasai impedansas bus sumažintas juo labiau, juo mažesnė bus varža antrinės špulės, sutikus, kad vingių skaičius abiejų špulių tas pats. O, aplamai, pažymėję varžą pirminės špulės r_1, antrinės r_2, vingių skaičių pirminės špulės n_1 ir antrinės špulės n_2, šituo atveju mes turėsime tokį santykį impedansui $r_1\left(1 + \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{n_1^2}{n_2^2}\right)$. Taigi atsimindami, kad antrinės špulės $r_2 = 0{,}1$ ohmo ir vingių skaičius tas pats kaip ir pirminėje špulėje, mes gausime impedansą, lygų 1,1 ohmo. Taigi mes čia turime savo rūšies ekonomijos principą. Kada antrinė spulė atdara, vadinasi, neveikiant transformatoriui, didėja impedansas del saviindukcijos pirminėje špulėje, o tai mažina srovę pirminėje špulėje ir mažina išeikvotą elektros energiją. Uždarius antrinę špulę, t. y. veikiant transformatoriui, mažėja impedansas antrinėje špulėje, vadinasi, didėja srovė joje ir todel didėja elektros energija, suteikta transformatoriui.



277 pieš.


278 pieš.

Impedanso reikšmę galima ryškiai demonstruoti su pagalba Leydeno bonkos, uždarytos lanku iš vario, kaip rodo 278 piešinys. Paprastai tokio vario lanko varža yra labai mažas dydis, bet, vykstant bonkos išlydžiui, mes čia turėsime labai didelio dažnumo kintamąją srovę, nes, kaip jau mes matėme 9 §, visas išlydis Leydeno bonkos tęsiasi nuo vienos milijoninės ligi 10 milijoninių sekundos dalių, ir tasai išlydis

susideda iš keleto oscilacijų. Vadinasi, čia mes turime dažnumus nuo milijono ligi 10 milijonų ir todel turime labai didelį impedansą arba labai didelę vario lanko varžą kintamajai srovei. Kaipo išdava išlydis pavidale kibirkšties lengviau įvyksta per oro tarpą tarp viršutinio ir apatinio lanko galų kaip per lanką. Taigi dabar bus suprantamas žaibo klaidžiojimas, apie kurį buvo kalbama 10 §. Žaibas kartais irgi yra išlydis labai didelio dažnumo ir tokiomis sąlygomis impedansas metalinio perkūnlaidžio gali pasidaryti toks didelis, jog išlydžiui bus lengviau įvykti per kamino plytas arba suodžius kaip per perkūnlaidį. Todel atsitinka, kad žaibas nušoksta nuo perkunlaidžio ir eina per tokias namo dalis, kurių varža paprastai yra žymiai didesnė kaip perkūnlaidžio varža.

Impedansas yra išdava to, kas galima pavadinti elektromagnetine inercija. Slenkant kūnui klampiame skystyje reikia skaitytis su dviejų rūšių pasipriešinimu tam slinkimui: su skysčio klampumu arba tangenciale jėga, kuri veikia nustumiant vienus skysčio sluogsnius kitų sluogsnių atžvilgiu ir su skysčio masės pasipriešinimu arba inercija, kuris pasipriešinimas būna juo didesnis, juo didesnį greitumą suteikia slenkąs kūnas skysčio dalims. Veikiant kintamajai srovei laidininke mes turime panašių dalykų: iš vienos pusės mes turime pasipriešinimą elektros judėjimui panašiai į trynimą, ir tasai pasipriešinimas sudaro tai, ką mes paprastai vadiname elektros varža, ir išreiškiame tą varžą eidami Ohmo dėsniu; tuo pačiu laiku laidininke susidaro saviindukcijos elektrovaromoji jėga, atkreipta prieš išorėj veikiančią eletrovaromąją jėgą, ir ta saviindukcijos elektrovaromoji jėga veikia taip, kad, tarytum, didėja laidininko pasipriešinimas elektros judėjimui. Del paprastos varžos R viena dalis elektros energijos išsklaidoma šilimos pavidalu, einant Joulio dėsniu. Del saviindukcijos pasipriešinimo, kaip mes pamatysime vėliau, antra dalis elektros energijos irgi išsklaidoma, tik pavidalu ypatingos radiacijos, pavidalu vadinamų elektromagnetinių bangų, o trečia dalis energijos sulaikoma.

Kad skirtumas tarp paprastos varžos R ir impedanso $\sqrt{R^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}$ būtų dar aiškesnis, atkreipsime čia dar dėmesį į tai, kad yra dvi elektros varžos definicijos: viena remiantis Ohmo dėsniu, o antra remiantis Joulio dėsniu. Einant Ohmo dėsniu elektros varža =

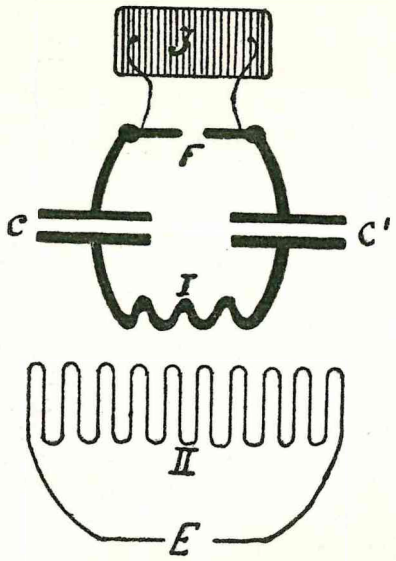
$$= \frac{\text{elektrovaromoji jėga laidininke}}{\text{elektros srovė laidininke}},$$ o einant Joulio dėsniu elektros varža =

$$= \frac{\text{išsklaidyta laidininko per sekundą energija}}{\text{kvadratas srovės, kuri eina per laidininką.}}$$ Abidvi šitos varžos definicijos sutampa, kada einant srovei per laidininką neįvyksta chemiškoji reakcija arba apgręžiamas šilimos efektas (žiūr. termosrovė) arba kintamoji magnetinė indukcija. Jeigu paminėti čia fenomenai įvyksta, tai tada dalis elektros energijos gali būti sutaupyta. Vadinasi, ne visa energija bus išsklaidyta, ir todel susidaro skirtumas tarp abiejų varžos definicijų. Šiandien įprasta vartoti terminas „varža“, kaipo energijos išsklaidymo koeficientas (einant Joulio dėsniu). Dalykas tas, kad visas pasipriešinimas arba obstrukcija elektros judėjimui, einant Ohmo dėsniu, susideda visuomet iš dviejų dalių: iš pasipriešinimo, kuris yra panašus į trynimą (vadinasi, neapgręžiamas procesas), ir iš polarizacijos elektrovaromosios jėgos arba kitos kokios priešingai veikiančios elektrovaromosios jėgos, aplamai, kokios nors apgręžiamos obstrukcijos. Visa šita obstrukcija, veikiant laidininke kintamajai srovei, vadinasi impedansas.

Abidvi varžos definicijos galima suderinti, jeigu Ohmo dėsnio formuloje bus imama ne išorėj veikiančioji elektrovaromoji jėga, o atstojamoji arba efektyvė elektrovaromoji jėga. Tai bus paprasčiausias būdas atsiminti tokius dalykus, kaip chemiška arba termiška polarizacija arba priešingai veikianti magnetinės indukcijos elektrovaromoji jėga. Turint vienok darbo su kintamąja srove negalima atimti nuo išorėj veikiančios elektrovaromosios jėgos priešingai veikiančios indukcijos jėgos, kuri galima sulyginti su atatranka. Bet imant skaitiklyje atatinkamai sumažintą elektrovaromąją jėgą, atsimenant tos jėgos pasivėlavimą fazės atžvilgiu, o vardiklyje impedansą, galima taikyti ir kintamajai srovei Ohmo dėsnis. Šitas impedansas, kaip jau paminėta, susideda iš

dviejų dalių: viena dalis reprezentuoja sistemos inerciją arba sistemos konservatingą dalį, o antroji reprezentuoja sistemos energijos išsklaidymą. Dalis išsklaidytos energijos reiškiasi šilima ir Joulio dėsnis liečia tik šitą dalį. Antroji dalis, kaip jau paminėta, skleidžiasi erdvėje elektromagnetinių bangų pavidalu. Suma energijos, išsklaidytos šilimos pavidalu ir bangomis, sudaro skaitiklį varžos definicijos remiantis Joulio dėsniu

Vengrų garsus elektrotechnikas ir fizikas Mikalojus Tesla 1894 metais paskelbė savo tyrinėjimų vaisius apie kintamąsias sroves labai didelių dažnumų ir labai didelių įtempimų. Tokios srovės gaunama su pagalba vadinamos Tesla transformacijos. 279 piešinys duoda paprasčiausią Tesla transformatoriaus schema. J induktorius, prie kurio antrinės špulės galų prijungti du elektrodai, geriau daryti iš cinko. Tarpe F tarp šitų elektrodų muša kibirkštys. Elektrodai sujungti su išvidiniais pamušalais dviejų Leydeno bonkų arba, aplamai, su kolektoriais dviejų kondensatorių C ir C'. Išoriniai pamušalai tų bonkų prijungti prie galų pirminės špulės J Tesla transformatoriaus. Šita pirminė špulė Teslos transformatoriaus susideda tik iš keleto vingių storos vario vielos (izoliuotos).

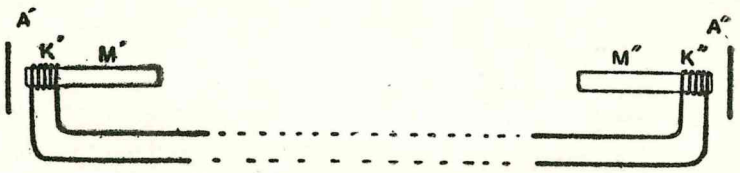


279 pieš.

Jokio geležies branduolio šita pirminė špulė neturi. Antrinė Tesla transformatoriaus špulė II susideda iš daugybės vingių plonos izoliuotos vielos. Tarp tos špulės galų yra tarpas E. Ant galų antrinės špulės paprastai būna metaliniai rutuliukai. Indukuota kintamoji srovė antrinėje špulėje induktoriaus J užtaiso kondensatorius arba Leydeno bonkas, kurios išsilydo kibirkštimis, labai šviesiomis ir triukšmingomis, per tarpą F tarp cinko elektrodų. Kadangi kiekvienos kibirkšties periodas yra labai trumpas ir kiekviena kibirkštis susideda iš eilės oscilacijų, tai tokiu būdu Leydeno bonkose ir Tesla transformatoriaus pirminėje špulėje I susidaro kintamoji srovė labai didelio dažnumo. Šita kintamoji srovė indukuoja antrinėje špulėje II Tesla transformatoriaus tokio pat didelio dažnumo kintamąją srovę bet žymiai didesnio įtempimo, kuris gali pasiekti keletą milijonų voltų. Efektas šitos didelio dažnumo ir didelio įtempimo kintamosios srovės yra nepaprastas. Kaip tik induktorius J ima veikti, iš polių antrinės Tesla transformatoriaus II špulės tarpe E išeina smarkiai išsišakoję elektriški spurgai, ir ne tik iš polių, bet ir iš pačios vielos, iš jos plikų galų. Jeigu ties vienu iš tų polių laikyti stiklo plokštę, tai ant jos susidaro šviesios Lichtenbergo figūros, apie kurias buvo kalbama 9 §. Jeigu prie polių bus prijungti du vario ritiniai koncentriškai su tarpu keleto centimetrų, tai tarp tų ritinių susidarys ugnies juosta, vykstant tarp jų išlydžiams. Elektroskopas, pastatytas arti nuo vieno iš polių ore, užsitaiso teigiamai, o kitose dujose neigiamai. Jeigu vieną iš polių antrinės Tesla špulės prijungiama prie žemės, tai apie antrą polį (apie rutuliuką) susidaro labai stiprus elektriškas laukas. Šitame lauke dar gan toli nuo polio užsidega kaitinimo lemputės ir šviečia Geislerio vamzdžiai. Palietus šitą polį ranka ir paėmus į kitą ranką kaitinimo lemputę, pastaroji užsidega. Galima sudaryti grandinę iš eilės asmenų. Vienam kraštutiniam asmeniui palietus ranka polį antrinės Tesla špulės, kaitinimo lemputė laisvoje rankoje kito kraštutinio asmens užsidega. Apie asmenį, kuris liečia ranka polį, irgi susidaro stiprus elektriškas laukas. Nepaisant didelio kintamosios srovės įtempimo antrinėje Tesla špulėje, galima drąsiai paliesti tos antrinės špulės polį, nes labai didelio dažnumo kintamoji srovė veikia tik ant kūno paviršiaus, neprasiskverbdama į odos sluogsnius giliau ir todel nesudarydama jokio fiziologinio efekto. Aišku, kad impedansas tokio didelio dažnumo kintamosios srovės yra nepaprastai didelis. Iš tikrųjų, atjungus antrinę Tesla špulę II ir sujungus galus pirminės Tesla špulės I lanku iš storo vario stiebo, o tarp to lanko šakų įjungus kaitinimo lemputę, pastaroji užsidega. Paprastai vario lanko elektros varža yra niekai

sulyginus su kaitinimo lemputės elektros varža, bet veikiant kintamajai srovei taip didelio dažnumo impedansas vario lanko nepaprastai didėja, ir todel elektros išlydis eina lengviau per kaitinimo lemputės siūlą, kaip per vario lanką. Reikia tik vario skersa viela tarp vario lanko šakų, su kurios pagalba prie tų šakų prijungta katinimo lemputė, varyti išilgai lanko šakų augštyn arba žemyn, kol bus surasta būklė efekto maksimum.

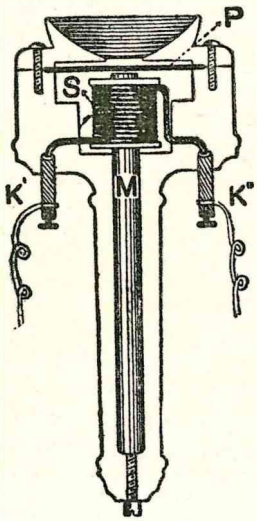
Prijungus prie antrinės špulės polių dvi metalines plokštis, geriausia dvi švino plokštis, tarp jų susidaro elektriškas laukas labai didelio stiprumo. Padėti tokiame lauke Geislero vamzdžiai be elektrodų gražiai šviečia. Taigi čionai mes turime kaip ir gemalą naujo būdo elektriško apšvietimo be laidininkų ir kabelių, kurie, kaip žinome, prie estetiškos gyvenamųjų butų formos neprisideda, nekalbant jau, kad kaina vario vielų ir kabelių sudaro žymią dalį elektros apšvietimo išlaidų. Galima augštai prie lubų pritaikyti dvi gražios metalinės plokštys ir jos prijungti prie polių antrinės Tesla transformatoriaus špulės. Tad Geislerio vamzdžiai įvairios formos be jokių elektrodų, padėti tarp šitų plokščių, duos šviesos. Norint sustiprinti tą šviesą, galima Geislerio vamzdžiai pripildyti garų tos ar kitos medžiagos, kuri smarkiai šviečia einant per juos elektros išlydžiams. Taip pat Tesla transformatorius yra kaip ir pirmas žingsnis elektros energijos padavimo atokumui be laidininkų. Bet visa tai ateities muzika. Iki šiolei mokslininkai žino galingus efektus didelio Tesla transformatoriaus, bet Tesla srovės didelio dažnumo ir įtempimo nėra ligi šiol pakankamai ištirtos. Reikia pasakyti, kad pats Tesla nespėjo pabaigti savo tyrinėjimų, nes jis jaunas būdamas pasimirė. Pridursime dar čia, kad turint galingus Tesla transformatorius oro izolacijos tarp pirminės ir antrinės špulių, lygiai kaip ir tarp atskirų tų špulių vingių, nebepakanka. Todel tokie transformatoriai įdedami į indus su alyva del geresnės izolacijos.



280 pieš.

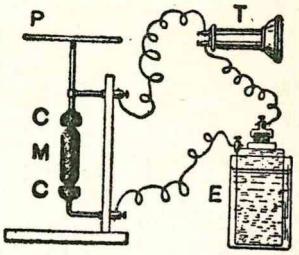
Dar prieš Teslą, būtent, 1875 metais anglas Aleksandras Graham (skaityk Grem) Bell, sekdamas Faraday'aus elektromagnetine indukcija, išrado telefoną, t. y. aparatą, kuriuo perduodama garsai ir kalba atokumui. Telefono principas yra labai paprastas dalykas, ir 280 piešinys atvaizduoja Bell'io telefono paprasčiausią schemą. M' reiškia permanentinį magnetą. To magneto galas apvyniotas vingiais izoliuotos vielos. Kitoje vietoje randasi toks pat permanentinis magnetas M'', kurio galas K'' irgi apvyniotas vingiais izoliuotos vielos. Galai abiejų solenoidų sujungti tarp savęs ir sudaro tai, kas vadinama telefono linija. Ties galais permanentinių magnetų K'' ir K' arti nuo tų galų padėtos dvi plonos metalinės plokštelės iš geležies arba aluminio. Magnetinės jėgų linijos, išeinančios iš magneto polio K', eina per oro tarpą, per metalinę plokštelę ir toliau per orą į kitą magneto polį. Garsą sudaro oro vibracijos, oro adiabatiniai susispaudimai ir išsiplėtimai. Kiekvienas žodis susideda iš tam tikrų garsų, o garsas iš tam tikrų tonų. Taigi kalbėdami ties metaline plokštele mes sudarysime ore bangų oro suspaudimų ir išplėtimų, kurie mechaniškai veiks metalinę plokštelę tai išgaubdami ją į vieną pusę, tai į kitą pusę (oro suspaudimas išgaubs plokštelę į pusę magneto polio ir priartins ją prie to magneto polio). Orui išsiplečiant plokštelė atsitaisys ir išsigaubs į priešingą pusę, atsitolindama nuo magneto polio. Taigi, kalbant ties plokštele, ji vibruos, o jai vibruojant mes turėsime magnetinio lauko tarp jos ir magneto polio variacijas: tasai magnetinis laukas tai stiprės, tai silpnės. Kaipo išdava šitų magnetinio lauko variacijų solenoide K' bus indukuojamos kintamosios srovės, kurios per liniją pasieks solenoidą kitoje stotyje ant permanentinio magneto M'' galo K''. Taigi šitam solenoide mes turėsime irgi kintamąją srovę, ir ta kintamoji srovė sudarys kaip tik tokias pat magnetinio lauko variacijas, kurios sudaromos plokštelės A' vibracijomis. Vadinasi, plokštelė A'' tai artinsis prie magneto, tai tolinsis nuo jo, vienu žodžiu,

šita plokštelė vibruos visiškai taip, kaip ir plokštelė A'. Bet plokštelės A" vibracijos sudarys ore tokių pat bangų kaip tos bangos, kurios sudaro vibracijas plokštelės A'. Taigi būdami arti nuo plokštelės A" mes išgirsime tuos žodžius, kurie kalbami ties plokštele A'. Žodžiai, intonacija, tembras bus atkartoti visais atžvilgiais, tiktai garsai vietoje A" bus silpnesni, ir juo silpnesni, juo toliau bus vieta A" nuo vietos A', nes dalis elektros energijos pakeliui bus išsklaidyta šilimos pavidalu.



281 pieš.

281 piešinys atvaizduoja schematiškai patį Bell'io telefoną, kuris iš pradžios buvo ir garsų perdavėju ir garsų priėmėju arba receptorium. Mes čia turime ilgoką ebonito vamzdį, į kurį įdėtas ilgas permanentinis magnetas M. Juo stipresnis magnetas, juo geresnis bus veikimas. Ant šito magneto viršutinio galo užmauta medinė špulė S su solenoidu iš didelio skaičiaus izoliuotos plonos vielos vingių. Tos vielos galai prijungti prie sraigtų arba bornų K' K". Ties magneto viršutiniu poliu, arti nuo jo, randasi minkštos geležies plona plokštelė P, o viršuj šitos plokštelės telefono vamzdis praplėstas trumpo ruporo pavidalu. Kalbama ties šita praplėsta dalimi telefono vamzdžio, kad geriau būtų sukoncentruojami garsai. Kitoj vietoj ant kitos stoties randasi toks pat telefonas. Jo bornai K K" sujungti su bornais telefono pirmosios stoties linijos vielomis. Jeigu kas nors kalbės į vieną telefoną, o kitas antroje stotyje turės prie ausies kitą telefoną, tai jis išgirs kalbą, kuri bus tik nusilpninta garsų stiprumo atžvilgiu, bet visais kitais atžvilgiais bus atkartota tinkamai.

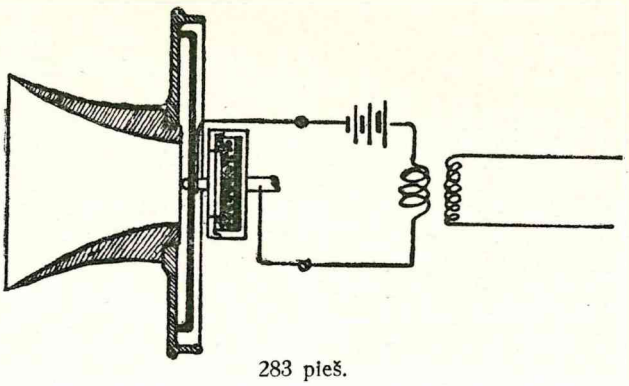


282 pieš.

Aprašyta čia paprasčiausia Bell'io telefono schema greitu laiku po jos išradimo pasirodė nepritaikoma dideliems atokumams, nes garsai priėmimo stotyje prie didelio atokumo tiek silpni, plokštelių variacijų amplitūdos tokios mažos, kad nieko nebebuvo girdima. Anglas Hughes'as (skaityk Juzas) ir amerikietis Edisonas išrado mikrofoną, kuris buvo labai dideliu patobulinimu Bell'io telefono ta prasme, kad buvo galima perduoti garsai indukcijos srovėmis dideliems atokumams. Mikrofonas išrastas 1876 metais ir jo principas galima suprasti iš schemos, kurią atvaizduoja 282 piešinys. Mes čia turime kietos anglies (kokso anglies) trumpą cilinderį M, kuris savo aštriais galais įdėtas į duobeles C ir C irgi iš kietos anglies (galima vietoj anglies imti ir grafitą). Prie šitų duobelių su pagalba metalinių laidininkų iš eilės prijungti galvaninis elementas E ir telefonas T, kaip rodo 282 piešinys. Metalinis stiebas sujungtas su viršutine duobele C, aprūpintas iš viršaus plokštimi P. Jeigu telefonas T randasi gan toli (kambary) nuo plokštės P ir jeigu ant šitos plokštės bėgioja musė, tai laikant telefoną prie ausies girdėt kaip musė lakstydama beldžia. Jeigu iš lengvo pabrauktume plokštį P šiurkščiu daiktu, tai telefone girdėt stiprus ir nemalonus trukšmas. Tai įvyksta todel, kad anglies cilinderio ir anglies duobelių kontaktuose mes turime itin didelę elektros varžą ir todel nuo vieno galvaninio elemento (sakysime, nuo Leclanche elemento) tame tinkle cirkuliuoja labai silpna srovė. Ta silpna srovė eina ir per telefono solenoidą, užmautą ant permanentinio magneto galo. Bet kiek paspaudę viršutinę duobelę, mes sustiprinsime kontaktą, ir tokiu būdu žymiai sumažinsime elektros varžą. Srovė telefono tinkle žymiai sustiprės. Antra vertus, sumažinus spaudimą tarp duobelių ir anglies cilinderio, elektros varža bus padidinta del blogesnio kontakto, ir srovė telefono tinkle sumažės. Taigi visa tai, kas suteikia judėjimus plokščiai P, ar tai bus musė ant tos plokšties, ar tai ta plokštis bus braukiama nagais, ar bus negarsiai kalbama ties ja, sudarys tos plokštės vibracijų, o tos vibracijos didins ir mažins elektros varžą telefono tinkle, ir tokiu būdu sudarys variacijų tame srovės tinkle, o tos variacijos sudarys variacijų mag-

netinio lauko telefone, ir todel telefono metalinė plokštelė ims vibruoti, ir juo smarkiau, juo smarkesnių bus srovės variacijų.

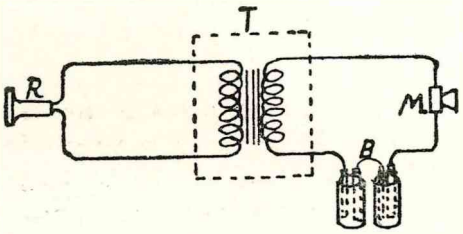
Taigi šiandien mikrofonu naudojamasi kaipo garsų perdavėju dideliems atokumams. 283 piešinys atvaizduoja dabarties mikrofono schemą. Visų pirma mes čia turime ruporą, arba mundštuką, į kurį kalbama, kad būtų geriau sukoncentruojami garsai. Šitas mundštukas padarytas iš ebonito. Jis galima pakeisti dideliu metaliniu kūgiu, kaip gramofonuose. Jis uždarytas diafragma plonos aluminio apskritos plokštelės pavidalu (apie 6 cm. diametro ir apie 0,05 cm. storumo). Šita diafragma pritvirtinta kietai savo krantais tarp dviejų kaučuko žiedų, ir žodžiai, kalbami į mundštuką, sudaro jos vibracijas, išgaubdami ją į vidų arba išorėj į mundštuko pusę. Šitos diafragmos užpakaly randasi nedidelė plokščia apskrita dėžė iš metalo. Dėžės dugnas apklotas disku iš kietos anglies, o jos viršus arba šonas, artimiausias nuo aluminio plokštelės, apklotas plonu disku iš žeručio. Pagaliau žeručio pusė, atkreipta į vidų dėžutės, irgi apklota plonu disku iš kietos anglies. Šitas žeručio diskas skersu štiftu arba sraigtu kietai sujungtas su aluminio plokštele arba skrituliu, taip kad vibruojant tai aluminio plokštelei, vibruoja ir žeručio diskas ir sujungtas su juo kietos anglies diskas. Siauras tarpas tarp abiejų anglies diskų pripildytas apskritų grūdelių iš grafito arba iš kokso anglies. Laidininkai nuo batarejos prijungti prie minėtų dviejų kietos anglies diskų, kaip rodo 283 piešinys. Taigi, tarp šitų diskų mes turime varžą gan didelę, apie 30 ohmų, o kai kuriais atvejais ir ligi 100 ohmų. Kalbant į mundštuką aluminio diskas arba plokštelė vibruoja ir kartu su ja vibruoja sujungtas su ja žeručio diskas ir kietos anglies diskas. Vadinasi, anglies grūdeliai dėžutėje tarp anglies diskų tai suspaudžiami smarkiau, tai atleidžiami, t. y. kontaktas tarp tų grūdelių tai gerėja, tai blogėja. To išdava varža batarejos tinklo, prijungto prie anglies diskų, tai mažėja, tai didėja. Paprastai čia varža svyruoja ribose 5—10 ohmų (10 ohmais žemiau arba augščiau tos varžos, kurią mes turime nekalbėdami į mikrofono mundštuką). Atatinkamai varžos svyravimams batarejos tinkle susidaro srovės svyravimų. Kad srovės variacijos būtų kiek galima didesnės, reikia, kad pati srovė būtų kiek galima stipresnė, vadinasi, reikia, kad varža batarejos tinklo būtų kiek galima mažesnė. Jeigu mes sujungtume iš eilės batareją, mikrofoną ir liniją, tai varža tokio tinklo bus didelė ir atatinkamai jame bus silpna srovė. Mes turėtumėm silpnų srovės variacijų ir silpną garsų perdavimą atokumui. Taigi, turime laikyti žymiu telefono patobulinimu, kuris priklauso anglui Hughes'ui (Juzui), nedidelio transformatoriaus įjungimą į mikrofono tinklą, arba induktoriaus, kurio pirminė špulė, susidedanti iš nedidelio skaičiaus vielos vingių sujungta iš eilės, kaip rodo 283 piešinys, su batareja ir su mikrofonu, tuo tarpu antrinė špulė induktoriaus, susidedanti iš didelio skaičiaus vielos vingių, sujungta su linijos vielomis ir su tolimos stoties telefonu. Vadinasi, mes dabar turėsime mikrofono tinkle, sulyginti, nedidelę varžą (kaip jau pasakyta apie 30 ohmų) ir atatinkamai didesnes srovių variacijas, kurios sudarys antrinėje induktoriaus špulėje gan didelio įtempimo indukcijos srovės variacijas. Tos variacijos ir privers vibruoti ploną geležies plokštelę telefono tolimosios stoties pakankamai didelėmis amplitūdomis, taip kad aiškiai bus girdėti kalba į mikrofono mundštuką. Paprastai tos amplitūdos labai mažos, nedidesnės kaip $^1/_{100}$ dalis m.m., bet impulsai, suteikiami jomis orui, yra pakankamai stiprūs, kad būtų sudarytos girdimos ausimis oro vibracijos.



283 pieš.

Aprašytas čia žirninės konstrukcijos mikrofonas yra šiandien vienintelis vartojamas mikrofono tipas. Jis veikia geriausia vertikalėje būklėje. Kadangi ne visuomet patogu

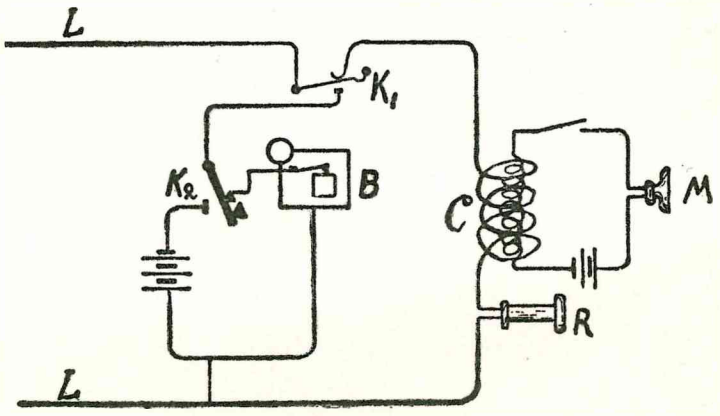
turėti mikrofonas vertikalėje būklėje, ypač tais atvejais, kada mikrofonas ir telefonas randasi tam pačiam vamzdy, kurio vienas galas dedamas prie ausies, o antruoju kalbama, tad yra ir toki mikrofono konstrukcija, kuri veikia vienodai gerai bet kurioje būklėje. Ta konstrukcija, kuri priklauso norvegui J. Skinderviken'ui, charakterizuojasi tuo, kad bet kurioje padėtyje mikrofono dėžutės apskriti grūdeliai pasidalija joje visuomet vienodai. Bet čia ne vieta aprašinėti įvairioms mikrofono konstrukcijoms. Mikrofono išradimas ir į mikrofono tinklą induktoriaus įvedimas sudarė, kad šiandien galima perduoti garsai dideliems atokumams, taip kad šiandien telefonais sujungtos vietos, kurios randasi atokume viena nuo antros keleto šimtų ir net tūkstančių kilometrų.



284 pieš.

284 pieš. atvaizduoja schemą sujungimo mikrofono vienos stoties su telefonu antros tolimos stoties. Mes čia turime anglies mikrofoną M, kuris veikia kaipo garsų perdavėjas. Tasai mikrofonas iš eilės sujungtas su batareja B iš keleto Leclanche'o elementų arba iš keleto nedidelių švino akumulatorių ir su pirmine špule induktoriaus T. Antrinė to induktoriaus špulė per liniją iš eilės sujungta su telefonu R tolimos stoties. Taigi kalbant į mikrofoną M, asmuo, kuris laiko prie ausies telefoną R, šitą kalbą girdės.

Paprastai, norint kalbėti, reikia paduoti signalas tai stočiai, su kuria norima kalbėti. Tasai signalas paduodamas elektros skambučiu. Paspaudus tam tikrą mygtuką galima paleisti srovę iš batarejos per skambutį tolimos stoties. Dažnai pakanka nuimti telefono vamzdį nuo kabliuko, kad būtų prijungta skambučio batareja prie linijos. Išgirdus skambutį, kitoje telefono stotyje vamzdys irgi nuimamas nuo kabliuko ir dedamas prie ausies. Ir vienoje ir antroje stotyje kalbama į mikrofoną. Patogu, kada mikrofonas ir telefonas sujungti vienam vamzdy. Tada vienas galas telefono vamzdžio pridedamas prie ausies, o į antrąjį kalbama (vamzdis tokiais atvejais turi užlenktus galus). 285 piešinys atvaizduoja schemą sujungimo mikrofono (garsų perdavėjo), elektros skambučio (signalizacijos) ir telefono (garsų priėmėjo). Šitoje schemoje garsų priėmėjas R, arba telefonas, parodytas tokiam sujungime, kada juo naudojamasi. Jis nuimtas čia nuo kablio K, ir tokiu būdu tas kablys, atpalaiduotas nuo telefono svorio, uždaro liniją, kuri iš eilės sujungta su antrine špule induktoriaus C ir su telefonu R. Klausoma iš R, o kalbama į M. Vadinasi, tarpas, parodytas tinkle mikrofono M, turi būti uždarytas. Nebėsant reikalui kalbėti, telefonas R kabinamas ant kablio K_1, kuris savo svoriu atlenkia svirtelę ir tokiu būdu pertraukia liniją L ir prijungia šitą liniją prie raktuko K_2. Taigi, tokią padėtį mes turime nevartodami telefono. Jeigu dabar iš kitos stoties reikia kalbėti (kitoje stotyje mes turime tą pačią schemą, kaip atvaizduota 285 piešiny), tai ten paspaudus tam tikrą mygtuką paleidžiama per liniją L srovė, kuri per kontaktą K_1 ir raktą K_2 patenka į elektros skambutį ir iš ten atgal į liniją L, kaip rodo schema 285 piešinio. Norint kalbėti iš stoties, kurią atvaizduoja schema, reikia paspausti šitos



285 pieš

stoties mygtukas ir sudaryti kontaktas tarp rakto K_2 ir vietinės batarejos. Kadangi telefonas R kabo ant kablio K_1 ir tokiu būdu linija L prijungta prie rakto K_2, tai srovė iš vietinės batarejos, parodytos piešiny, eis į liniją, iš ten per kontaktus K_1 ir raktą K_2 tolimos stoties eis į tos stoties elektros skambutį ir toliau atgal į liniją ir į vietinę batareją. Skambutis skambės tolimoje stotyje.

Susisiekimas telefonu yra daug patogesnis kaip telegrafu ir, be to, yra surištas su mažesniu laiko gaišinimu. Taigi telefono išradimas buvo naujas didelis žingsnis pirmyn susisiekimo ir kultūrinimo priemonės atžvilgiu. Daug kalbėti apie tai nėr reikalo, nes šiandien kiekvienas supranta didelę šitos susisiekimo priemonės naudą.

---

22 §. Įvairūs būdai sužadinti indukcijos srovėms. Kintamosios ir nuolatinės srovės magnetoelektrinės mašinos. Komutatorius. Armatūra ir lauko magnetai. Grammo žiedas. Hefner-Altenecko cilinderis, arba būgnas. Dinamo principas. Dinamo mašinų nuolatinės srovės tipai. Nuolatinės srovės elektros varikliai (motorai). Kintamosios srovės ypatumai. Kintamosios srovės dinamo mašinos (alternatoriai) ir varikliai. Sukamasai magnetinis laukas ir sukamoji srovė. Transformatoriai ir elektros energijos perdavimas atokumui.

Einant Faraday'aus išrasta elektromagnetine indukcija galima įvairiais būdais sužadinti indukcijos srovės laidininkuose, kitaip sakant, sudaryti tuose laidininkuose magnetinė indukcija B. Sukdami magnetiniam lauke stiprumo H solenoidą iš n vingių, kurių kiekvienas apima plotą A, kaip jau nurodyta kalbant apie žemės induktorių mes sudarysime solenoide kintamąją elektrovaromąją jėgą $nAH \cos \vartheta$, jeigu ϑ yra kampas, kuriuo laidininkas perkerta magnetinį lauką. Taip pat mes sudarysime kintamąją elektrovaromąją jėgą magnetu arba magnetais, keisdami tų magnetų padėtį uždaryto laidininkų tinklo atžvilgiu. Įsivaizduokime laidininką rato pavidalu ir ant to rato ašies magnetinį polį m atokume r nuo rato centro. Iš polio m į visas puses išeina magnetinės jėgų linijos ir dalis tų linijų perkerta ratą. Taigi per rato plotą eina tam tikras magnetinis sriautas $= \frac{m}{r^2} \cdot 2\pi r^2 (1 - \cos \vartheta)$. Čia ϑ reiškia kampą, kurį sudaro rato ašis su linija, jungiančia polį m su bet kuriuo rato tašku. Tokiomis sąlygomis: $2\pi (1 - \cos \vartheta) = \frac{2\pi r^2 (1 - \cos \vartheta)}{r^2}$ yra ne kas kita, kaip kietas arba erdvinis kampas, kurį sudaro kūgis su viršūne taške m ir su baze iš rato. Pažymėsime šitą kampą raide ω. Tad magnetinį sriautą iš polio per rato apimtą plotą galime išreikšti kaipo $m\omega$ (tai ir bus magnetinė indukcija B, sudaryta poliu m).

Jeigu dar per ratą eina srovė i, tai šita sistema iš magnetinio polio ir rato turės energiją $m\omega i$ ir todel joje apsireikš tendencija relatyvaus judėjimo. Sudaranti tokį judėjimą jėga bet kuria kryptimi bus lygi atmainai energijos $m\omega i$, skaitant ją duota kryptimi ant vieneto atokumo. Jeigu mes turime ne vieną polį arba ne vieną magnetą, o keletą, tai sriautas nuo jų per rato plotą arba sudaryta jų magnetinė indukcija per ratą galime išreikšti kaipo suma $\Sigma (m\omega)$ ir šito dydžio variacijomis galima sukurti elektrovaromąją jėgą rate.

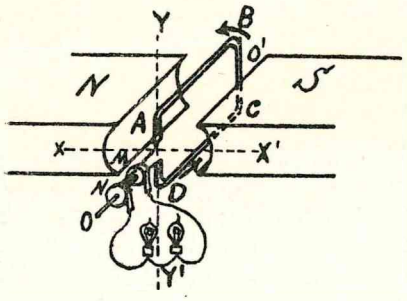
Toliau, kaip jau mes žinome, duotame rate arba tinkle galime sudaryti indukcijos elektrovaromąją jėgą srovės variacijomis kitame tinkle (transformatoriaus principas). Indukcija B arba magnetinis sriautas per abudu tinklus tokiu atveju bus Mi, jeigu mes raide M pažymėsime tarpusavės indukcijos koeficientą. Taigi šito dydžio variacijomis viename tinkle (pirminiame) ir bus indukuojama elektrovaromoji jėga kitame tinkle (antriniame).

Pagaliau, turint kintamąją srovę laidininke, tame laidininke bus indukuojama irgi kintamoji saviindukcijos srovė arba ekstrasrovė. Pažymėję saviindukcijos koeficientą

raide L, mes čia sudarysime tam pačiam laidininke ekstraelektrovaromąją jėgą variacijos indukcijos B=Li. Kadangi saviindukcijos koeficientas pareina ne tik nuo laidininko ilgio, bet ir nuo jo formos, tai tokį pat efektą mes atsieksime keisdami laidininko ilgį arba formą. Veikiant tuo pačiu laiku visiems šitiems būdams indukcijos B variacijų, bus indukuota elektrovaromoji jėga

$$E = \frac{d}{dt} [n A H \cos \vartheta + \Sigma (m \omega) + Mi^1 + Li].$$

Šita formula yra santrauka visų Faraday'aus nurodytų būdų indukcijos srovėms sukurti. Praeitame paragrafe mes jau matėme kai kuriuos įdomius ir svarbius Faraday'aus išradimų pritaikymus. Šitame paragrafe mes kalbėsime apie elektros energijos generatorius didelių energijos kiekių, kurių konstrukcija ir veikimas remiasi Faraday'aus išradimu. Prieš Faraday'aus išradimą elektros srovė buvo gaunama iš galvaninių elementų, ir todel vartojimas elektros energijos buvo labai apribotas ir negalėjo išeiti iš laboratorijos ribų. Faraday'aus elektromagnetinės indukcijos išradimas privedė prie konstrukcijos dinamomašinų keleto šimtų ir net tūkstančių arklių jėgos, taip kad visa šių dienų elektrotechnika, kaip elektros apšvietimas, elektros trakcija, vartojimas elektros energijos įvairiose darbo įstaigose ir chemijos pramonės reikalams visiškai remiasi Faraday'aus išradimu.

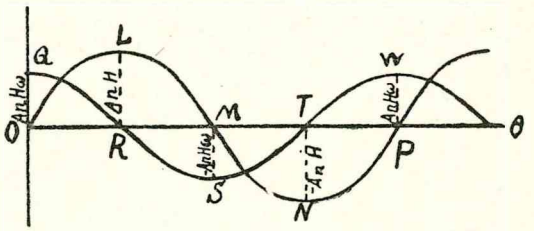


286 pieš.

Faraday'us paskelbė savo išradimą, kaip jau mes minėjome, 1831 metais, o jau 1832 metais įvairių asmenų buvo daromos pastangos norint konstruoti mašinas, remiantis Faraday'aus išradimu, gaminti didesnių kiekių elektrai. Kaip jau minėta, Faraday'us pats padirbo tokios mašinos modelį visiškai panašų į Barlowo ratą (žiūr. 224 pieš). Del vietos stokos mes čia neminėsime visų tų mėginimų ir pasitenkinsime tik pabrėžę pagrindinius dėsnius, kuriais veikia elektros energijos generatoriai.

286 piešinys atvaizduoja polius N ir S stipraus permanentinio magneto. Magnetiniam lauke tarp šitų polių yra įtaisytas solenoidas keturkampio ABCD pavidalu, taip kad šitą solenoidą galime sukti magnetiniame lauke apie jo ašį O O'. Šita ašis perkerta magnetinį lauką tiesiu kampu. Tegu solenoidas sukasi, kaip rodo iešmutės, prieš laikrodžio rodiklį, žiūrint iš galo AOD, ir tegu XOX' ir YOY' reprezentuoja plokštumas per O lygiagrečiai ir tiesiu kampu magnetinio lauko atžvilgiu. Solenoido šonas AB perkerta jėgų linijas gausiausiai gulsčioje būklėje, t. y. pereinant per plokštumą XX' iš vienos ar iš kitos pusės, nes tada tasai šonas AB slenka tiesiu kampu magnetinio lauko krypties atžvilgiu. Tuo tarpu tasai šonas AB vertikalėje padėtyje, pereidamas per plokštumą YY', ar viršuj ar apačioje, slenka lygiagrečiai magnetiniam laukui ir todel neperkerta jokių jėgų linijų. Magnetinio srauto per šoną AB atmaina arba atmaina jėgų linijų skaičiaus, kurį tas šonas perkerta per 1 sekundą, yra lygi indukcijos elektrovaromajai jėgai tame šone AB. Taigi ta elektrovaromoji jėga pasiekia maksimumą tada, kada šonas solenoido AB iš vienos ar iš antros pusės pereina per plokštumą XX' (kitaip sakant, kada solenoidas eina per gulsčią būklę) ir yra lygi nuliui tada, kada šonas AB pereina apačioje ar viršuj per plokštumą YY'. Taigi, atliekant solenoidui ABCD vieną pilną apsisukimą, šone AB dvejose būklėse elektrovaromoji jėga bus lygi nuliui (solenoidas vertikalėje būklėje) ir dviejose būklėse ta elektrovaromoji jėga bus maksimumu: vieną sykį teigiamas maksimumas bus tada, kada, sakysime, AB perkerta plokštumą XX, slinkdamas žemyn, ir antrąsyk neigiamas maksimumas, kada AB perkerta plokštumą XX', kildamas iš apačios augštyn. Tą patį turėsime ir kitam šone solenoido DC, tiktai tuo skirtumu, jog kai šone AB bus teigiamas maksimumas elektrovaromosios jėgos, šone DC bus neigiamas maksimumas, ir atbulai. Nulio elektrovaromoji jėga bus tuo pačiu laiku ir šone AB ir šone DC. O solenoido šonai BC ir

AD visuomet užima, sukantis, tokią padėtį magnetinio lauko atžvilgiu, jog variacijos magnetinio sriauto per juos nėra, ir todel tuose šonuose visiškai neindukuojasi elektrovaromoji jėga. Kai del indukuotos elektrovaromosios jėgos krypties šonuose solenoido AB ir CD, tai ji gali būti nustatyta einant Flemingo dešiniosios rankos trijų pirštų taisykle. Taikydami šitą taisyklę mes konstatuosime, kad sukantis solenoidui prieš laikrodžio rodyklę indukcijos elektrovaromoji jėga veikia šone AB kryptimi nuo A į B, kada tas šonas slenka žemyn per plokštumą XX' (šone DC tada bus kryptis elektrovaromosios jėgos iš C į D). Kada gi šonas AB kįla augštyn, eidamas per plokštumą XX', tai indukcijos elektrovaromoji jėga jame atkreipta iš B į A. Taigi, ta indukcijos elektrovaromoji jėga solenoide keičia savo kryptį dusyk per vieną pilną apsisukimą solenoido ir, be to, jos didumas svyruoja tarp nulio ir tam tikro maksimumo pirmąja ir antrąja kryptimi. Atatinkamai šitoms variacijoms elektrovaromosios jėgos kinta ir srovė solenoide. Taigi, užmovę ant solenoido ašies galo OD, kuris galas turi būti iš izoliuojamos medžiagos padarytas, du metalinius žiedus (varinius arba misinginius), prijungę prie jų solenoido galus, priglaudę prie žiedų dvi metalines plokšteles, vadinamas šepečiais, ir prijungę prie tų plokštelių išorinį tinklą, sakysime, su elektros lemputėmis, kaip rodo 286 piešinys, mes gausime tame tinkle kintamąją srovę. 286 piešinys ir duoda schemą paprasčiausios magneto-elektrinės mašinos kintamajai srovei gauti.

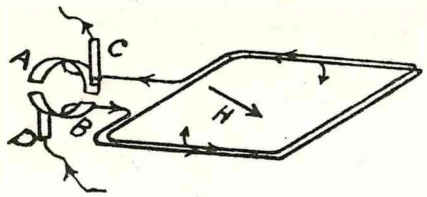


287 pieš.

Indukcijos elektrovaromoji jėga, sukantis solenoidui, kiekvienu momentu yra lygi magnetinio sriauto atmainai per sekundą. Pažymėsime solenoido apimtą plotą raide A, skaičių sūkių per sekundą raide n ir magnetinio lauko stiprumą raide H. Jeigu solenoido plokštuma, jam sukantis, sudaro kampą ϑ su magnetinio lauko kryptimi, tai tuo momentu magnetinis sriautas per solenoidą yra lygus A n H sin ϑ. Vadinasi, tas sriautas yra visų didžiausias ir yra lygus A n H, kada solenoido plokštuma sudaro kampą 90^0 su magnetinio lauko kryptimi, ir visų mažiausias (lygus nuliui), kada solenoido plokštuma sutampa su magnetinio lauko kryptimi. Bet šito magnetinio sriauto atmaina per 1 sekundą yra visų didžiausia, kada solenoido plokštuma sudaro labai mažą kampą su lauko kryptimi, ir visų mažiausia, kada ta plokštuma sudaro su magnetiniu lauku 90^0. Atidėsime ant abscisos kampą ϑ, ordinatomis magnetinį sriautą A n H sin ϑ per solenoido plokštumą. Tad gausime kreivą sinus liniją OLMNP, kurią atvaizduoja 287 piešinys. Šita kreiva rodo, kad magnetinio sriauto atmaina, išreiškiama tangente kampo $\left(\frac{dy}{dx} = tg\ \alpha\right)$, kurį sudaro liečiamoji linija bet kuriame taške kreivosios su abscisos linija, yra visų didžiausia taškuose kreivosios O, M, P ir yra lygi nuliui taškuose L ir N (nes čia liečiamoji linija eina lygiagrečiai abscisų ašiai). Kadangi elektrovaromoji jėga yra lygi magnetinio sriauto atmainai per sekundą, tai ji pasieks maksimumą abscisos taškuose O, M ir P ir bus lygi nuliui abscisos taškuose R ir T. Taigi, kreiva 287 piešinio linija QRSTW atvaizduoja indukcijos elektrovaromosios jėgos eigą per vieną pilną apsisukimą solenoide. Šita kreivoji duoda variacijas sinus kreivosios OLMNP ir todel ji yra cosinus kreivoji. Vadinasi, indukcijos elektrovaromoji jėga kiekvienu momentu yra proporcinga cosinusui kampo, kurį sudaro solenoido plokštuma su magnetiniu lauku ir todel gali būti išreikšta lygtimi: $E = A\ n\ H\ \cos\vartheta . \frac{d\vartheta}{dt}$. (Šitą lygtį mes galime gauti diferencijuojant lygtį magnetinio sriauto $N = A\ n\ H \sin\vartheta$ ir nustatant $\frac{dN}{dt}$ = magnetinio sriauto at-

maina per 1 sekundą). Bet $\frac{d\vartheta}{dt} = \omega$ = kampinis greitumas solenoido magnetiniame lauke. Todel formula indukcijos elektrovaromajai jėgai bus toki: $E = A\ n\ H\ \omega \cos \vartheta$.

Duosime čia dar kitą formulą indukcijos elektrovaromajai jėgai. Tegu linijinis greitumas solenoido bus v, kada solenoidas sudaro kampą ϑ su magnetiniu lauku. Tad komponenta šito greitumo v statmenai laukui yra lygi $v \cos \vartheta$. Pažymėsime lauko stiprumą raide H ir solenoido šono AB ilgį raide 1. Tad $v\ l\ H \cos \vartheta$ bus skaičius jėgų linijų, kurias perkerta per 1 sekundą šonas AB. Kadangi šonas CD yra to paties ilgio ir perkerta tokį pat skaičių magnetinių jėgų linijų per 1 sekundą, tai indukcijos elektrovaromoji jėga $E = 2\ v\ l\ H \cos \vartheta$. Jeigu solenoidas daro n apsisukimų per sekundą, tai $v = 2\pi nr$. Čia r reiškia statmenišką atstumą solenoido ašies nuo jo šonų AB ir CD. Taigi mes turėsime $E = 4\pi nrlH \cos \vartheta$. Bet 2rl yra lygu solenoido plotui, kurį pažymėsime raide A. Atsimenant, kad AH yra skaičius magnetinių linijų per solenoido plotą, kada jis sudaro kampą 90^0 su magnetiniu lauku, ir pažymėję šitą skaičių jėgų linijų raide N_0, mes, pagaliau, gausime tokią formulą indukcijos elektrovaromajai jėgai: $E = 2\pi nN_0 \cos \vartheta$. Šita formula kai kuriais atvejais yra patogesnė, kaip augščiau duotoji, nors esmės skirtumo tarp šitų dviejų formulų nėra.

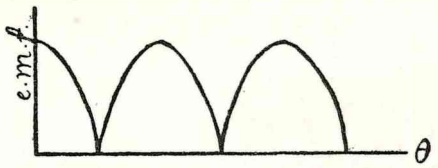


288 pieš.

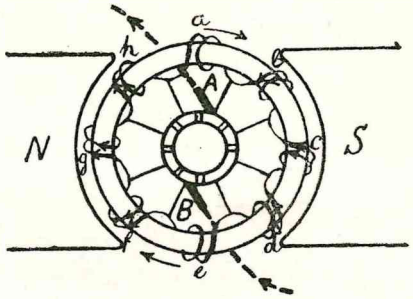
Magnetoelektrinė mašina kintamajai srovei gauti atsirado tuojau po Faraday'aus elektromagnetinės indukcijos išradimų. Bet tuomet, ir ilgą laiką vėliau, kintamoji srovė neturėjo jokio pritaikymo, ir niekas nežinojo, kas jai daryti. Elektrolitinių procesų studija ir visa eilė kitų bandymų su dinamine elektra reikalavo nuolatinės srovės, t. y. tokios srovės, kurios kryptis ir stiprumas nekinta. Todel visos pastangos fizikų ir elektrikų buvo atkreiptos į tai, kad, remiantis Faraday'aus magnetoindukcija, būtų padirbta tokia elektrinė mašina, kuri duotų nuolatinę srovę. 288 pieš. rodo paprasčiausią būdą, kuriuo paverčiama kintamoji srovė nuolatine srove. Reikia tik ant solenoido ašies iš izoliuojamos medžiagos užmauti varinis arba misinginis žiedas, perpjautas dviejose diametraliai priešingose vietose išilgai, kitaip sakant, reikia paimti žiedas, sudarytas iš dviejų pusių su tarpais viršuj ir apačioj, kaip rodo 288 pieš. Galai solenoido prijungti prie šito žiedo pusių, ir, sukantis solenoidui, sukasi abidvi žiedo pusės. Prie žiedų, kaip rodo 288 piešinys, priglaustos dvi metalinės plokštelės C ir D, vadinamos šepečiais, taip kad, sukantis žiedui, tie šepečiai iš eilės būna kontakte tai su viena žiedo puse, tai su kita. Jeigu solenoidas sukasi su laikrodžio rodykle ir užima padėtį, parodytą piešiny, tai srovė viršutiniam solenoido šone eina iš dešinės į kairę pusę, patenka į žiedo pusę A, iš ten į šepetį C ir iš šepečio į tinklą. Tuo tarpu srovė apatiniame solenoido šone eina iš kairės į dešinę pusę, vadinasi, srovė iš tinklo eina į šepetį D, į žiedo pusę B ir į apatinį solenoido šoną. Nesunku suvokti, kad, sukantis solenoidui, visą laiką srovė išoriniame tinkle eis iš šepečio C ir grįš į šepetį D, nes indukcijos elektrovaromoji jėga solenoide apsigręžia visuomet, kada solenoidas užima vertikalę būklę ir, žiūrint į 288 piešinį, nesunku pastebėti, kad slenkanti žemyn solenoido pusė visuomet yra kontakte su šepečiu C, o kįlanti augštyn yra kontakte su šepečiu D. Todel išoriniame tinkle, prijungtame prie šepečių C ir D, elektrovaromoji jėga veikia visą laiką ta pačia kryptimi. Aprašyta čia priemonė, kuria paverčiama kintamoji srovė solenoide srove nuolatinės krypties išoriniame tinkle, vadinasi komutatorius, ir, nepaisant jo didelio paprastumo, šis išradimas sudarė didelį žingsnį pirmyn evoliucijoje magnetoelektrinės mašinos nuolatinės srovės. Reikia vienok pasakyti, kad gauta aprašytu čia būdu nuolatinė srovė išoriniame tinkle visuomet yra tos pačios krypties, bet jos stiprumas svyruoja tarp nulio ir tam tikro maksimumo, nes indukcijos elektrovaromoji jėga taip svyruoja. Grįžtant prie 287 piešinio, pakeitimas, kurį sudaro komutatorius, pasireikš tuo, kad visos dalys indukcijos elektrovaromosios jėgos kreivosios QRSTW bus perkeltos viršuj abscisos OP, ir mes gausime kreivą, kurią atvaizduoja 289 piešinys. Šita kreiva atvaizduoja srovės svyravimus, arba pulsacijas. Taigi, mes turime čia nuolatinės

krypties, bet pulsuojančią srovę. Pastangos išlyginti šitoms pulsacijoms, gauti ne tik nuolatinės krypties, bet ir nuolatinio stiprumo srovei, privedė prie Grammo žiedo išradimų (tuo pačiu laiku toksai pat žiedas buvo išrastas Pačinottio) ir prie tolimesnio ištobulinimo magnetoelektrinės mašinos nuolatinės srovės.

Kiekviena magnetoelektrinė mašina yra sudėta iš dviejų dalių: sukamo solenoido, arba armatūros, ir vadinamų lauko magnetų. Pasirodo, kad srovės pulsacijos išoriniame tinkle mažėja didinant skaičių solenoido vingių, bet tuo pačiu laiku tenka imti komutatorius ne iš dviejų pusių, bet iš visos eilės metalinių plokštelių, kietai prijungtų prie armatūros ašies, bet izoliuotų nuo ašies. Taip pat atskiros plokštelės izoliuotos viena nuo kitos, paliekant tarp jų nedidelius tarpus ir užpildant tuos tarpus izoliuojamąja medžiaga, sakysime, žeručiu. Juo daugiau vingių turės solenoidas, juo didesnė bus indukcijos elektrovaromoji jėga. Aprūpinus solenoidą branduoliu arba šerdimi iš minkštos geležies, magnetinė idukcija B bus smarkiau sustiprinta ir indukcijos elektrovaromoji jėga bus dar daugiau padidinta. Eidamas šitais principais Grammas ir Pačinotti padirbo savo armatūrą, plačiau žinomą Grammo žiedu, kurį schematiškai



289 pieš.



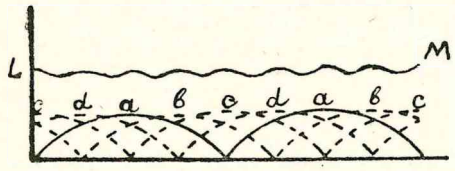
290 pieš.

atvaizduoja 290 pieš. Mes čia turime tarp stipraus permanentinio magneto polių N ir S minkštos geležies žiedą, apsuptą aštuoniais solenoidais a, b, c, d, e, f, g ir h (iš tikrųjų tokių solenoidų būna ir daugiau). Atatinkamai ir komutatorius yra sudėtas iš 8 varinių arba misinginių plokštelių su tarpais tarp jų, užpildytais žeručio. Kaip jau pasakyta, komutatoriaus plokštelės kietai prijungtos prie žiedo ašies ir izoliutos nuo tos ašies irgi žeručiu. Kaip rodo 290 piešinys, prie kiekvienos komutatoriaus plokštelės eina laidininkas nuo jungo dviejų kaimyninių solenoidų (kitaip sakant, galas vieno solenoido sujungtas su pradžia artimiausio kaimyno solenoido ir nuo tos sujungimo vietos eina laidininkas prie komutatoriaus plokštelės). Taigi visi žiedo solenoidai sujungti tarp savęs iš eilės ir sudaro vieną uždarytą laidininką. Jungai dviejų kaimyninių solenoidų visuomet prijungti prie vienos komutatoriaus plokštelės, taip kad komutatorius turi tiek plokštelių, kiek armatūra solenoidų. Šepečiai A ir B priglausti prie komutatoriaus, kaip rodo piešinys. Jie padirbti iš vario, misingio arba kietos anglies. Dažnai jie dirbami iš misingio tinklo, sudedant keletą tokio tinklo lapelių ir suspaudžiant juos. Reikia turėti galvoj, kad šliaužiant šepečiams per komutatoriaus plokšteles, nusitrina ir komutatoriaus plokštelės, ir sepečiai, ir izoliuojamasis žerutis. Todel medžiaga komutatoriaus plokštelėms ir šepečiams turi būti vienodo kietumo ir bent tokio pat kietumo, kaip žeručio kietumas, kad nusitrynimas būtų vienodas visoms trims dalims.

Kada armatūra sukasi, kaip rodo iešmos (žiūr. 290 pieš.), tai elektrovaromoji jėga solenoiduose veikia kryptimi, parodyta iešmutėmis. Taikant Flemingo dešiniosios rankos trijų pirštų taisyklę arba atsimenant, kad didėjant magnetinių linijų skaičiui, kuris pereina per laidininką, srovės kryptis visuomet būna prieš laikrodžio rodyklę, o mažėjant magnetinių linijų skaičiui, srovės kryptis visuomet atatinka laikrodžio rodyklę, galima įsitikinti, kad elektvaromosios jėgos ir srovės kryptis žiedo solenoiduose yra toki, kaip parodyta 290 piešiny. Solenoidai c ir g parodytoje būklėje turi maksimalę elektrovaromąją jėgą, tuo pačiu laiku elektrovaromoji jėga solenoiduose a ir e yra lygi o. Taigi srovės solenoiduose b, c ir d, lygiai kaip ir srovės solenoiduose f g ir h teka visuomet tos komutatoriaus plokštelės link, kuri duotu momentu yra kontakte su šepečiu A, nes kiekvienas solenoidas prisijungia prie šepečio A, užė-

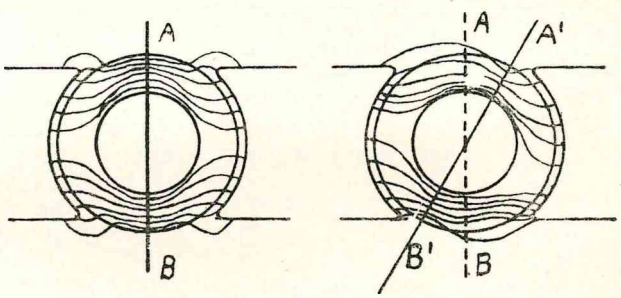
męs tam tikrą, ir visuomet tą pačią, padėtį magnetiniame lauke. Vadinasi, indukcijos elektrovaromoji jėga ir srovė, susidarius tai pačiai solenoido būklei, bus visuomet vienodos krypties. Taigi, prijungus prie šepečių A ir B išorinį tinklą arba darbo tinklą, srovė eis į tą išorinį tinklą iš šepečio A ir grįš į armatūrą per šepetį B. Todel komutatorius su šepečiais vadinasi srovės kolektorium.

Kada šepečiai A ir B randasi kaip tik ant tarpų tarp dviejų kaimyninių plokštelių (žiūr. 290 pieš.), tai du gretimi solenoidai, sakysime, a ir b viršuj ir e ir f apačioje, būna trumpai sujungti (susidaro kurcšlusas). Trumpas sujungimas yra pavojingas dalykas, nes tai reiškia smarkų varžos sumažėjimą ir labai žymų srovės sustiprinimą. O stipri srovė gali pakenkti armatūros izolacijai del didelės Joulio šilimos (gali sudeginti izolaciją ir sugadinti mašiną). Be to, nuslenkant šepečiui nuo tarpo, tarp šepečio ir tarp kolektoriaus šoks pertraukimo kibirkštis, kuri yra kenksminga ir kolektoriui ir šepečiams (kibirkštis dezintegruoja, naikina medžiagą kolektoriaus plokštelių ir šepečių). Taigi, šepečiai A ir B visuomet reikia laikyti tokioje būklėje, kad minėtas čia trumpas sujungimas susidarytų visuomet tada, kada du gretimi solenoidai užima minimum indukcijos padėtį (kada elektrovaromoji jėga yra lygi nuliui), kaip rodo 290 piešinys. Tada trumpas sujungimas nepavojingas.



291 pieš.

Kadangi solenoidai b, c ir d sujungti iš eilės, tai elektrovaromosios jėgos iš atskirų solenoidų susideda. Tas pats reikia pasakyti apie solenoidus f, g ir h iš antros pusės žiedo. Sukantis armatūrai, elektrovaromoji jėga kiekvienam solenoide kinta didumo atžvilgiu, kaip rodo 289 piešinys (pulsuoja). Tegu variacijas elektrovaromosios jėgos solenoide a atvaizduoja tirštai nupiešta kreiva linija 291 piešiny, o variacijas elektrovaromųjų jėgų b, c ir d — punktyru nupieštos linijos. Kiekvienu momentu elektrovaromoji jėga tarp šepečių A ir B yra lygi sumai elektrovaromųjų jėgų, pažymėtų čia keturių solenoidų iš vienos pusės armatūros. Sudėję tas elektrovaromąsias jėgas (arba sudėję ordinatas kreivųjų 291 pieš.) mes gausime kreivą LM, kuri atvaizduoja variacijas atstojamosios elektrovaromosios jėgos. Aišku, kad turint ant žiedo 8 solenoidus, elektrovaromosios jėgos pulsacijos smarkiai mažėja, nes linija LM gangreit tiesi linija. Paėmę dar didesnį skaičių solenoidų armatūroje, mes gautumėm dar tiesesnę liniją ir, vadinasi, gautumėm, praktiškai, nuolatinę elektrovaromąją jėgą. O tas sudaro didelę vertę Grammo žiedo su pakankamu skaičium solenoidų.

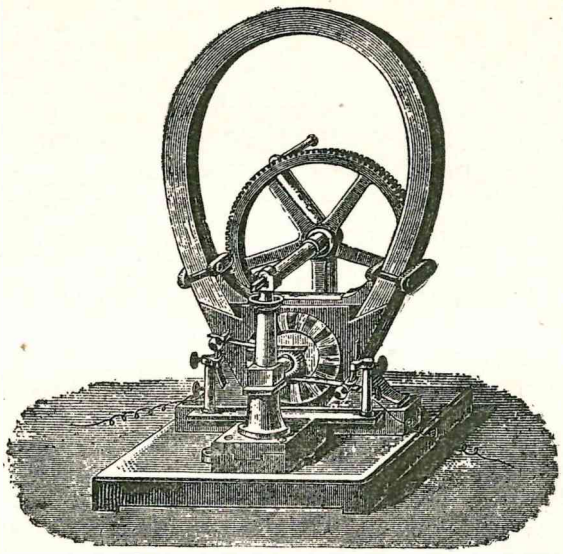


292 pieš.

Kaip jau pasakyta, šepečiai A ir B turi būti nustatyti taip, kad pereinant per juos kolektoriaus tarpams, vadinasi, paliečiant šepečiui tuo pačiu laiku dvi kolektoriaus plokšteles, prijungtuose prie tų plokštelių solenoiduose elektrovaromoji jėga būtų lygi nuliui. Tad šepečiai reikia nustatyti neutraliuose taškuose. Reikia vienok turėti galvoj, kad einant srovei per armatūrą, kinta magnetinio lauko kryptis, ir todel, sukantis armatūrai, padėtis neutralių taškų bus ne ta, kaip tada, kada armatūra yra parimusi. 292 piešinys iš kairės pusės rodo magnetinio lauko kryptį armatūrai parimus ir nesant srovės armatūroje. Tad neutralūs taškai A ir B randasi kaip tik ant vertikalės linijos, kuri padalija magnetinį lauką į dvi simetrines puses. Bet, kada armatūroje teka srovė, ji duoda komponentą magnetinio lauko statmenišką magnetiniam laukui permanentinio magneto, ir todel atstojamasai magnetinis laukas atrodo taip, kaip matome 292 pieši-

ny iš dešinės pusės. Vadinasi, linija, dalijanti lauką į dvi simetriškas puses, būtent, linija A^1B^1, pasukta tam tikru kampu linijos AB atžvilgiu. Tokiomis sąlygomis padėtis neutralių taškų bus ant linijos A^1B^1, ir nustatant šepečius reikia jie visuomet pasukti atatinkamu kampu linkui vertikalės linijos, kuri dalija magnetinį lauką į dvi simetrines dalis. Šitas kampas tarp vertikalės AB ir magnetino lauko simetrijos ašies A^1B^1, einant srovei per armatūrą, vadinasi šepečių reguliavimo kampas. Nustačius šepečius šituo kampu, nebus srovės gretimuose solenoiduose, kada jie bus trumpai sujungti šepečiu, ir todel nebus ir kibirkščių, pertraukiant šitą trumpą sujungimą. Kad galima būtų surasti šitą neutralę būklę šepečiams, jie tam tikruose laikikliuose prijungti prie rėmų, kurie galima pasukti bet kuriuo kampu apie ašį. Paprastai neutralė padėtis surandama mėginimu. Bet reikia pasakyti, kad nelengvas dalykas surasti tokia neutralė padėtis šepečiams, ir tikrenybėje vis delto kibirkštėlės šokinėja tarp kolektoriaus plokštelių ir šepečių.

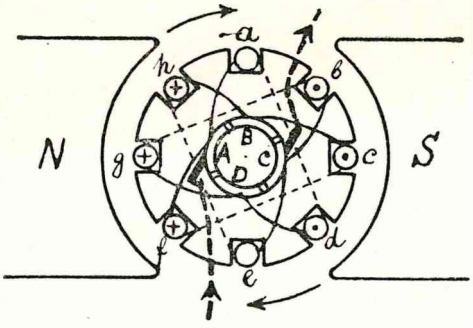
293 piešinys atvaizduoja Grammo magnetoelektrinę mašiną nuolatinės srovės, padirbtą 1871 metais einant mūsų išdėstytais principais. Mes čia turime stiprų permanentinį magnetą pasagos pavidalu, sudarytą iš visos eilės plieno plokštelių, kaip aprašyta 1 §. Ant polių šitos pasagos apačioje užmautos polių galūnės dviejų išskaptuotų geležies puscilinderių pavidalu su cilindriniu tarpu tarp jų. Šitos polių galūnės randasi geležinėje dėžėje, taip kad jų piešiny nematyti. Cilindriniam tarpe tarp polių galūnių randasi Grammo žiedas. Priešakinė to žiedo dalis, lygiai kaip kolektorius ir šepečiai, matyti piešiny. Oro tarpas tarp Grammo žiedo (armatūros) ir cilindrinių paviršių polių galūnių privalo būti kuo mažiausias. To tarpo turi būti tik tiek, kad armatūra neliestų galūnių cilindrinių paviršių ir galėtų laisvai suktis. Užpakaly matyt krumpliaratis su šestarne, su kurios pagalba galima sukti armatūra. Vadinasi, šita mašina varoma ranka. Iš pryšakio yra parodyti dar du misiginiai stulpeliai su sraigtais, sujungti per šepečius su armatūra ir su išoriniu, arba darbo, tinklu iš eilės. Sukdami krumpliaratį mes gausime srovę išoriniame tinkle, kuri iš eilės eis ir per visus solenoidus Grammo žiedo. Einant Lenzo elektromagnetinės indukcijos dėsniu elektrovaromoji jėga žiedo solenoiduose susidaro visuomet tokios krypties, jog priešinasi solenoido judėjimui, vadinasi, priešinasi armatūros sukimui. Šitas pasipriešinimas juo labiau didėja, juo greičiau sukama armatūra. Taigi, čia reikia atlikti tam tikras mechaniškas darbas, norint indukuoti elektrovaromąją jėgą ir norint gauti elektros energiją iš magnetinio lauko magnetinės energijos. Vadinasi, magnetoelektrinė mašina yra aparatas, su kurio pagalba galima gauti elektros energija iš mechaniškos energijos.



293 pieš.

Grammo mašina, varoma ranka, duoda, palyginti, nedidelį efektą ir neturi jokios praktiškos vertės. Į ją tenka žiūrėti kaipo į modelį, padirbtą remiantis augščiau išdėstytais principais ir tinkamą šitiems principams demonstruoti laboratorijoje ar auditorijoje. Atsiradus tai mašinai, ji atlikdavo panašias funkcijas. Be to, yra kita priežastis silpnam Grammo mašinos efektui, ir ta priežastis glūdi pačioje armatūros konstrukcijoje (Grammo žiedo). 292 piešinys rodo, kad magnetinio lauko jėgų linijos daugiausia eina per žiedo

medžiagą ir žiedo vidury nėra jokių magnetinių linijų. Vadinasi, magnetinio lauko stiprumas žiedo vidury yra lygus nuliui. Vadinasi, visos tos dalys solenoidų žiedo, kurios randasi ant išvidinio žiedo paviršiaus, neveikia. Tose dalyse visiškai nėra magnetinės indukcijos, nes tos dalys sukasi tokiam lauke, kurio stiprumas yra lygus nuliui. Tokiu būdu Grammo žiede veikia tik pusė suvartotų jo konstrukcijai laidininkų. Tai yra neekonomiškas dalykas ir todel suprantama, kad buvo dedamos pastangos padirbti tokią armatūrą, kurios laidininkai per visą savo ilgį perkirstų magnetinio lauko jėgų linijas. Grįžtant prie 286 piešinio matyti, kad čia veikia abudu išilginiai šonai keturkampio solenoido, o neveikia tik skersiniai šonai. Bet, kaip jau mes matėme, efektas vieno solenoido yra labai silpnas. Todel savaime ateina į galvą mintis paimti visą eilę tokių keturkampių ilgų solenoidų su kiek galima trumpesniais skersais šonais ir apvynioti visus tuos solenoidus apie minkštos geležies cilinderį, sujungiant juos tarp savęs iš eilės ir įtaisamt juos tam tikru kampu vienas kito atžvilgiu. Išpildžius šitas sąlygas, neveikiančios solenoidų dalys bus labai trumpos, o atstojamoji elektrovaromoji jėga bus lygi sumai elektrovaromųjų jėgų, indukuotų atskiruose solenoiduose. Reikia pasakyti, kad tinkamas sujungimas tokių išilginių solenoidų ir prijungimas jų prie kolektoriaus yra itin painus dalykas, bet visgi Vokios inžinieriui Hefner-Alteneckui pasisekė 1876 m., remiantis čia išdėstytais sumetimais, konstruoti vadinamą cilindrinę arba būgninę armatūrą, kuri yra žymiai veiklesnė, kaip Grammo žiedas. Paprasčiausią tokios armatūros (vokiečių ir rusų armatūrą dažnai vadinama inkaru) schemą duoda 294 piešinys. Mes čia turime pailgą cilinderį iš minkštos geležies (piešiny parodytas tokio cilinderio skerspjūvis). Ant paviršiaus šito cilinderio išskaptuoti išilgai 8 latakai. Į tuos latakus įdėti 8 izoliuoti nuo cilinderio laidininkai tokio ilgio, kaip cilinderio ilgis, būtent laidinininkai a, b, c, d, e, f, g, h (piešiny parodyta tik laidininkų skerspjūviai). Komutatorius arba kolektorius čia yra sudėtas iš keturių plokštelių arba sekcijų su tarpais tarp jų, užpildytais izoliuojamojo žeručio (komutatoriaus sekcijų arba plokštelių skaičius visuomet yra lygus pusei laidininkų skaičiaus). Laidininkai tam tikru būdu sujungti tarp savęs cilinderio užpakalyje ir tam tikru būdu prijungti prie kolektoriaus plokštelių, visuomet prie vienos plokštelės kolektoriaus prijungiami pryšakiniai galai dviejų laidininkų, bet ne gretimų, o peršokus du laidininkus iš vienos pusės cilinderio. Pirmutinis tų laidininkų užpakaly cilinderio sujungtas su kitu laidininku irgi peršokus per du laidininkus, bet jau iš kitos pusės cilinderio. Pavyzdžiui, laidininkas a ir laidininkas f, sakysime, pirmasai ir ketvirtasai laidininkai pryšakiniais galais prijungti prie kolektoriaus sekcijos A iš vienos pusės cilinderio. Užpakaly cilinderio pirmasai laidininkas a prijungtas prie laidininko d iš kitos pusės cilinderio. Prijungimai prie kolektoriaus sekcijų iš pryšakio cilinderio parodyti 294 piešiny tirštomis linijomis, o sujungimai laidininkų galų užpakaly cilinderio punktyrų linijomis. Įsižiūrėjus gerai į 294 piešinį nesunku pastebėti tokius dalykus. —



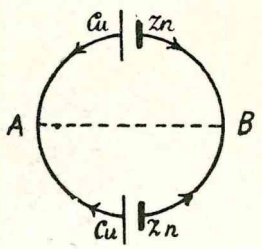
294 pieš.

Sukantis cilinderiui magnetiniam lauke parodyta iešmomis kryptimi, indukcijos elektrovaromoji jėga laidininkuose b, c ir d bus atkreipta iš užpakalio į pryšakį, o laidininkuose f, g ir h ji bus atkreipta iš pryšakio į užpakalį. Kadangi visos magnetinio lauko jėgų linijos eina per cilinderio geležį, tai čia bus veiklios abidvi dalys sujungtų tarp savęs užpakaly cilinderio laidininkų, sakysime, dalis viršuj cilinderio ir apačioje cilinderio, arba iš dešinės pusės cilinderio ir iš kairės pusės cilinderio ir t. t. Vadinasi, čia bus sunaudota indukcijos reikalams didžioji dalis solenoidų ilgio.

Čia šepečiai prijungti prie kolektoriaus sekcijų A ir C ir srovė į išorinį tinklą eina iš šepečio C ir grįžta į šepetį A. Seksime dabar, kaip eina srovė toliau. Kolektoriaus sekcijoje A ta srovė pasidalija į dvi dalis. Viena dalis eina į laidininką a, iš to laidi-

ninko a per užpakalinį jungą (punktyru pažymėta) į laidininką d, iš d į kolektoriaus sekciją D, iš čia į laidininką g, iš g per užpakalinį jungą į laidininką b ir iš b į kolektoriaus sekciją C, iš ten per šepetį į tinklą ir iš tinklo atgal į kolektoriaus sekciją A. Kita dalis srovės pradedant nuo tos pačios kolektoriaus sekcijos A eina į laidininką f, paskui į laidininką c, paskui į laidininką h, toliau į laidininką e ir pagaliau į šepetį C, į tinklą ir iš tinklo atgal į kolektoriaus sekciją A. Taigi čia armatūra padalyta į du tinklus arba į du srovės ratus, sujungtus tarp savęs lygiagrečiai. Ir šitoje schemoje, kada, sukantis armatūrai ir kolektoriui, šepetis patenka į tarpą tarp dviejų kolektoriaus sekcijų, susidaro trumpas sujungimas vieno solenoido, ir todel ir čia šepečiai turi būti pastatyti tam tikru kampu, kitaip sakant, turi būti ant linijos, kuri sudaro tam tikrą kampą su vertikale, dalijančią magnetinį lauką į dvi simetrines puses, kaip jau pasakyta kalbant apie Grammo žiedą.

Kadangi mes čia turime armatūrą, sudarytą iš dviejų tinklų, sujungtų lygiagrečiai, o kiekvienas iš tų tinklų sudarytas iš to paties skaičiaus solenoidų, sujungtų iš eilės, tai aišku, kad mašinos elektrovaromoji jėga arba skirtumas potencialų ant šepečių yra lygi elektrovaromajai jėgai, indukuotai viename armatūros tinkle. Elektrovaromoji jėga, indukuota antrame tinkle, yra tokio pat didumo, tik atkreipta priešingai. Vadinasi, toki armatūra atkartoja schemą dviejų galvaninių elementų, sujungtų lygiagrečiai, kaip rodo 295 piešinys. Mes jau žinome, kad elektrovaromoji jėga lygiagrečiai sujungtų galvaninių elementų yra lygi elektrovaromajai jėgai vieno galvaninio elemento, nes, sakysime, abudu cinkai, sujungti tarp savęs, turi bendrą potencialą B ir abudu variai, sujungti tarp savęs, turi kitą bendrą potencialą A. Taigi prijungę išorinį tinklą prie taškų A ir B (295 pieš.) mes tame tinkle turėsime srovę, veikiant elektrovaromajai jėgai A — B, kuri bus lygi elektrovaromajai jėgai tik vieno galvaninio elemento. Taip pat tarp šepečių A ir C (žiūr. 294 pieš.) veikia elektrovaromoji jėga, kuri yra lygi indukcijos elektrovaromajai jėgai vieno iš dviejų lygiagrečiai sujungtų tinklų armatūros. Taigi, prijungę prie tų šepečių išorinį tinklą, mes turėsime jame srovę.



295 pieš.

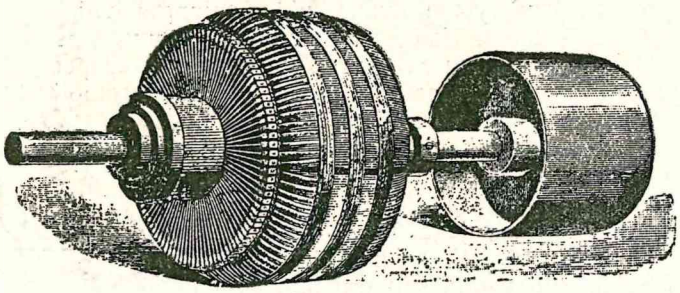
Mes čia paėmėm paprasčiausią schemą su 8 laidininkais ant geležies cilinderio. Bet iš tikrųjų tokių laidininkų yra keli šimtai, nes iš keleto arba dešimties laidininkų būtų labai silpnas efektas. Nesunku suprasti, koksai komplikuotas ir sunkus darbas yra tokių laidininkų sujungimas tarp savęs ir prijungimas jų prie kolektoriaus sekcijų. 296 piešinys duoda išorinį pavidalą Grammo žiedo, o 297 piešinys Hefner - Altenecko būgninio inkaro arba būgninės armatūros.

Duosime čia dar vieną būdą apskaityti indukcijos elektrovaromajai jėgai. Tegu kiekvienas laidininkas sukantis armatūrai ir slenkant jam iš viršaus magnetinio lauko į apačią perkerta F jėgų linijų ir tegu laidininkų skaičius (arba visų vingių skaičius) bus z. Tad kiekvienas iš dviejų lygiagrečiai sujungtų armatūros tinklų turės $\frac{z}{2}$ laidininkų. Tegu toliau armatūra daro n apsisūkimų per sekundą. Kiekvienas laidininkas per pusę apsisukimo perkerta F jėgų linijų. Taigi, per vieną apsisukimą jis perkirs 2F jėgų linijų, o per n apsisukimų 2nF jėgų linijų. Bet $\frac{z}{2}$ laidininkų, sujungtų iš eilės, sudaro vieną tinklą. Taigi, indukuotos juose elektrovaromosios jėgos susideda, ir atstojamoji elektrovaromoji jėga vieno tinklo bus $E = 2nF.\frac{z}{2} = n\,Fz$ absoliutiniais elektromagnetiniais vienetais arba $E = nFz \cdot 10^{-8}$ voltais.

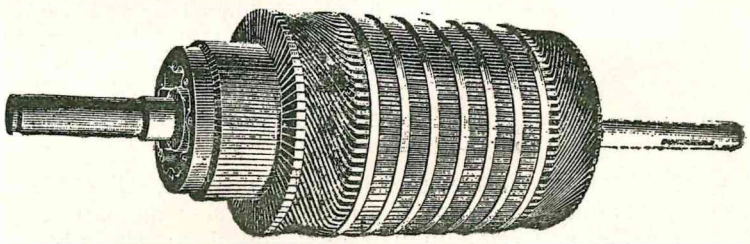
Sustiprinti efektui dažnai sudaromas magnetinis laukas ne vienu poriu magnetinių polių, bet dviem, keturiais ir daugiau porių. Augščiau duotoji formula elektrovaromosios jėgos galioja vienam poriui elektromagnetinių polių. Turint p porių

elektrovaromoji jėga E = pnFz. 10^{-8} voltų. Vadinasi, norint elektrovaromąją jėgą apskaityti, reikia žinoti magnetinį sriautą F per vieną laidininką per pusę vieno apsisukimo, laidininkų skaičius z, apsisukimų skaičių n ir pagaliau skaičių magnetinių polių porių.

Savaime aišku, kad paėmus vietoj permanentinių magnetų, kurie vis delto duoda, sulyginti, silpną magnetinį lauką, elektromagnetą, ir leidžiant per jo vingius srovę, bus sudarytas didelio stiprumo magnetinis laukas, ir todel armatūra, sukama tokiam lauke, duos žymiai didesnę elektrovaromąją jėgą ir stipresnę srovę tinkle, kaip sukant tą pačią armatūrą permanentinių magnetų lauke. Taigi Hefner - Altenecko būgnas ir vartojimas elektromagnetų, žadinamų srove iš galvaninės batarejos, buvo kitas didelis žingsnis pirmyn gaminime elektros energijos iš mechaniškos energijos. Bet visgi magneto - elektrinės mašinos, kurios veikia remiantis šitais principais, praktikoje neįsivyravo, ir šių dienų elektrotechnika su jos milžiniškomis mašinomis ėmė kilti tik tada, kada garsus Vokios inžinierius Werneras Siemensas, vienas iš kūrėjų ir pirmutinių profesorių garsios Charlottenburgo (Berlyno priemiestis) Politechnikos, paskelbė 1867 metais savo dinamo principą. Paprastai geležyje visuomet yra šiokie tokie magnetizmo likučiai, nes, kaip jau mes matėme 18 §, reikia pavartoti ypatingos demagnetinimo priemonės, kad būtų atpalaiduota geležis nuo magnetizmo. Taigi Siemensui atėjo į galvą mintis suvartoti šituos magnetizmo likučius indukcijos srovei armatūroje sudaryti. Siemenso idėja buvo ši, kad sukant armatūrą silpname magnetiniame lauke, kurį sudaro elektromagneto geležies branduolio magnetizmo likučiai, armatūroje susidaro silpna indukcijos srovė. Leidžiant šitą silpną srovę per elektromagneto vingius elektromagneto magnetinis laukas bus sustiprintas ir iš savo pusės sustiprins indukcijos sroves armatūroje. Toksai tarpusavis sustiprinimas indukcijos srovių armatūroje ir elektromagneto magnetinio lauko eis tol, kol bus atsiekta soti magnetinė buklė elektromagneto geležies (žiūr. 18 §). Taigi vykdant šitą principą tam tikras kiekis magnetinės energijos bus paverstas elektrine energija sąskaita atlikto mechaniško darbo, kuris reikalingas sukti armatūrai. Todel Siemensas pavadino šitą principą dinaminiu principu arba „dinamo principu“, ir nuo to laiko veikiančios, remiantis šituo principu, mašinos yra vadinamos dinamomašinomis, arba paprastai dinamo. Šitą savo principą Siemensas paskelbė Berlyno Mokslo Akademijai 1867 metų sausio mėn. 17 d. ir nuo to laiko reikia laikyti pradžią elektrotechnikos. Tuo laiku Faraday'us dar buvo gyvas, bet sunku pasakyti, kaip jis domėjosi savo idėjos plačiu realizavimu. Tų pačių metų vasario mėn. apie Siemenso principą buvo padarytas pranešimas Karališkoje Mokslo Draugijoje Londone. Faraday'us tuomet dar buvo gyvas, bet jau nebedalyvavo draugijos posėdžiuose.

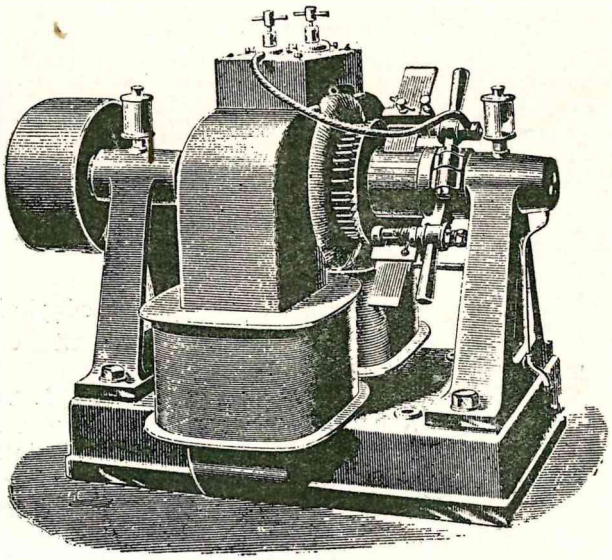


296 pieš.

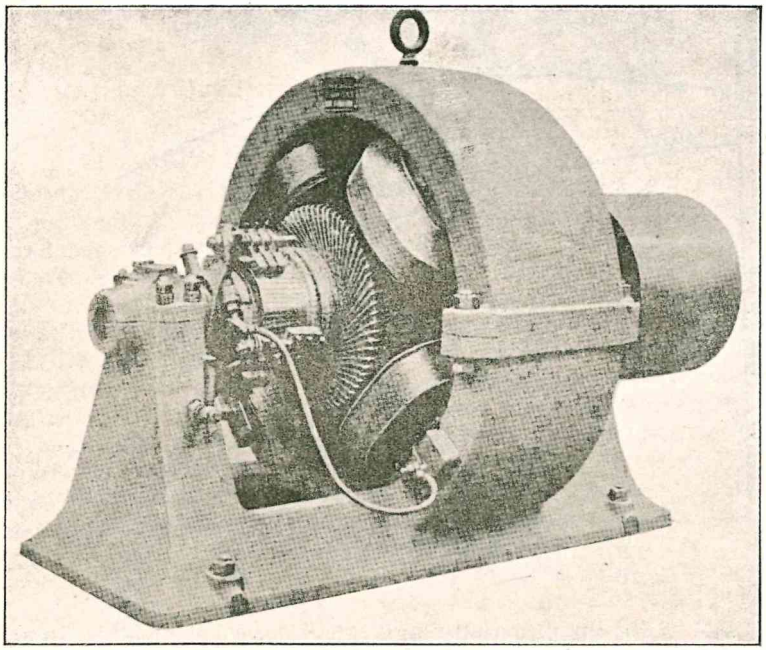


297 pieš.

Darydamas savo pirmą pranešimą Berlyno akademijai Siemensas demonstravo ir modelį dinamo mašinos, kurią jis pats suprojektavo, bet kurią konstruavo šaltkalvis Halske. Paskui inž. Siemensas ir šaltkalvis Halske sudarė tikrą koperaciją iš dviejų: vienas projektavo, o antrasis puikiai vykdė projektus. Iš tos koperacijos ir susidarė garsi Vokietijos elektrotechniška firma „Siemens ir Halske". 298 piešinys atvaizduoja vieną iš paprasčiausių dinamo mašinų nuolatinei srovei gauti. Visa mašina sukrauta geležies staklėse. Elektromagnetų polių galūnės sudaro cilindrinį tarpą, kurį užima būgninis inkaras, arba armatūra. Tasai būgninis inkaras randasi ant mašinos ašies. Užpakaly matyt skriemulis, ant kurio užmaunamas diržas mašinai sukti. Iš pryšakio ant ašies matyt komutatorius arba kolektorius su dviem šepečiais, kurie laikosi tam tikruose rėmuose ir kuriuos sukant galima nustatyti šepečiai tam tikru kampu magnetinio lauko vertikalės simetrijos linijos atžvilgiu. Mašina dvipolinė ir atatinkamai komutatorių liečia du šepečiai. Srovė iš inkaro, arba armatūros, per vieną šepetį eina į elektromagneto vingius, iš ten į darbo tinklą ir iš ten atgal per antrą šepetį į inkarą. Tokio sujungimo mašina vadinasi eilinė arba serijos mašina. Jungą elektromagnetų geležinių branduolių sudaro apačioje geležinių staklių pagrindas.



298 pieš.

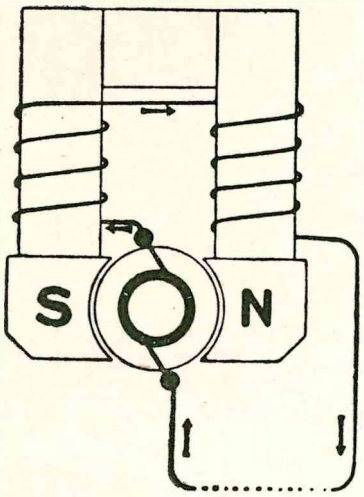


299 pieš.

299 piešinys atvaizduoja keturpolinę dinamomašiną nuolatinės srovės su būgniniu inkaru ir su keturiais šepečiais, atatinkamai prijungtais prie komutatoriaus. Tai yra mašina garsios dinamomašinų dirbtuvės „Oerlikon", netoli nuo Züricho, jėgos 40 kilowatų arba 54 arkliai, t. y. mašina, kuri prie 110 voltų įtempimo gali duoti 363 amperus srovės.

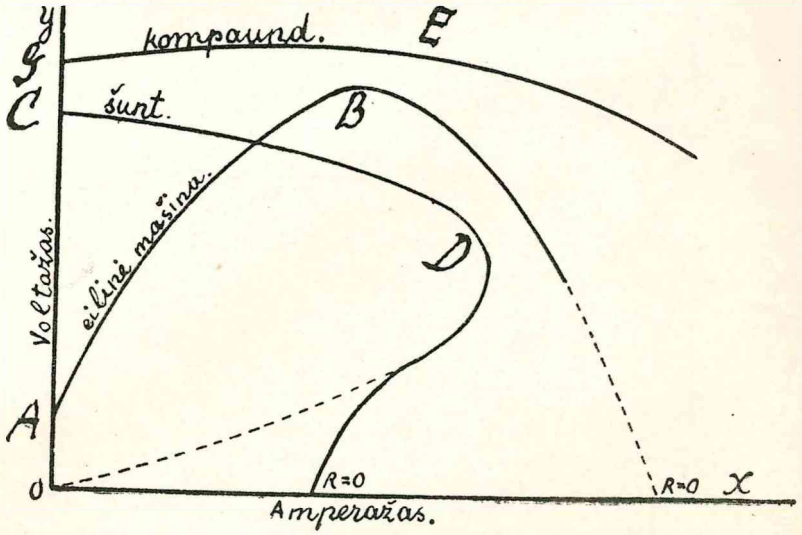
Šia proga pabrėšime dar, kad geležiniai branduoliai armatūros, ar ta armatūra bus žiedo pavidalu ar būgninė, privalo būti sudaryti iš atskirų geležies sluogsnių arba

plokščių (lamelių), kad būtų pašalintas verpetų srovių veikimas. Imant geležies branduolius inkarams masingais del tų verpetų arba Foucault'o srovių gan didelis procentas elektros energijos virsta šilima, kuri čia yra proporcinga srovės kvadratui, ir todel ekonomiškumas mašinos mažėja. Sudarant geležies branduolį inkarui, reikia išvengti bet kurios indukcijos srovės tame branduolyje lygiagrečiai inkaro laidininkams. Vienu žodžiu, sluogsniai arba geležies lamelės turi eiti taip, kad jie sudarytų tiesų kampą su ta kryptimi, kuria susidaro geležyje indukcijos srovės. Aplamai, geležies branduoliui suteikiama sluogsninė arba lamelinė struktūra, kaip lygiagrečiai ašiai taip ir skersai. Tokia pat sluogsninė struktūra reikia suteikti ir elektromagneto geležies branduoliams. Todel kaip inkaro, taip ir elektromagnetų branduoliai sudaromi arba iš geležies lapų arba iš geležies vielos pluoštų ir niekuomet nesudaromi iš masingų geležies cilinderių.



300 pieš.

Einant Siemenso principu, indukcijos srovė, sudaryta armatūroje, vartojama ir elektromagnetams žadinti. Del to vartojami trys būdai sujungimo armatūros, lauko elektromagnetų ir išorinio arba darbo tinklo, ir atatinkamai tiems trims sujungimo būdams yra trys tipai nuolatinės srovės dinamomašinų. 300 piešinys atvaizduoja schematiškai eilinę arba serijų dinamomašiną. Čia špulės arba solenoidai elektromagneto šakų sudaryti iš nedidelio skaičiaus storos vielos vingių. Srovė iš vieno šepečio eina į elektromagneto solenoidus, iš ten į darbo tinklą ir iš to darbo tinklo grįžta per antrą šepetį atgal į armatūrą. Didinant užkrovimą darbo tinkle, sakysime, įjungiant daugiau ir daugiau kaitinimo lempų, sujungtų lygiagrečiai, mažės varža ir didės srovė tame išoriniame tinkle. Bet stiprės ir srovė elektromagneto solenoiduose, atatinkamai stiprės magnetinis laukas ir todel prie to paties apsisukimų skaičiaus per sekundą arba prie to paties inkaro greitumo kils voltažas. Prijungę voltmetrą šuntu prie bornų arba klemų, sujungtų su šepečiais, ir įjungę ampermetrą į darbo tinklą galima sekti, kaip kinta šitos serijos mašinos voltažas augant srovei. Atidėdami srovę ant abscisos, o voltažą ordinatomis, gausime serijų mašinos charakteristiką arba charakteringą tai mašinai kreivą liniją, kurią atvaizduoja 301 piešinys. Augant srovei elektrovaromoji mašinos jėga gan smarkiai auga, bet pasiekus tam tikrą maksimumą, paskui ima mažėti. Taigi charakteringa tai mašinai kreiva linija OAB yra panaši į magnetinio pra-

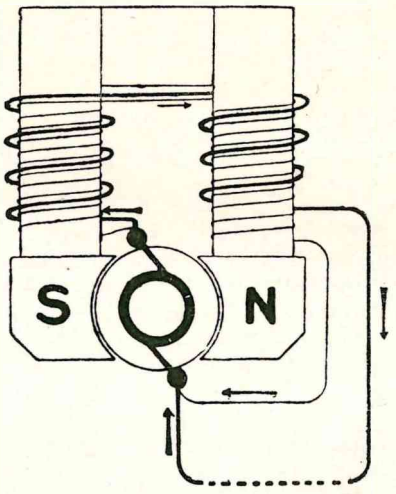


301 pieš.

laidumo kreivą liniją. Elektrovaromoji jėga pasiekia maksimum vertę, kada geležis elektromagneto pasiekia sočią magnetinę būklę. Stiprinant srovę dar labiau, magnetinis pralaidumas geležies mažėja ir atatinkamai mažėja elektrovaromoji jėga. Šita mašina netinka akumulatoriams užtaisyti, nes prijungus akumulatorių batareją prie klemų arba prie bornų srovė iš batarejos eitų per elektromagneto solenoidus adverniška kryptimi, o tai reiškia pavojų kaip akumulatorių batarejai, taip ir pačiai mašinai.

302 piešinys atvaizduoja antrą tipą dinamo mašinų, vadinamą šunt-mašiną. Cia prie klemų arba bornų, sujungtų su šepečiais, lygiagrečiai prijungti išorinis arba darbo tinklas ir elektromagneto pavijonės. Tos pavijonės čia susideda iš didelio skaičiaus plonos vielos vingių. Vadinasi, čia elektromagneto žadinimas prijungtas šuntu prie armatūros ir darbo tinklo. Prijungę prie klemų voltmetrą ir įjungę į darbo tinklą ampermetrą, seksime, kaip kinta šitos mašinos voltažas keičiant srovę. Kreiva linija C D (žiūr. 301 pieš.) yra tos mašinos charakteristika. Augant srovei darbo tinkle, šunt-mašinos elektrovaromoji jėga mažėja, ir yra visų didžiausia, kada darbo tinklas neužS N

302 pieš.



303 pieš.

darytas, kitaip sakant, kada darbo tinkle srovė yra lygi nuliui. Tada mes turime maksimum srovės šunte (elektromagneto solenoiduose) ir maksimalę elektrovaromąją jėgą. Sakoma, kad mašina sukasi tada tuščiai. Didinant varžą darbo tinkle eis stipresnė srovė per elektromagneto solenoidus ir atatinkamai kils dinamomašinos voltažas. Mažinant varžą darbo tinkle, kitaip sakant, didinant dinamo mašinos užkrovimą, srovė elektromagneto solenoiduose silpnės ir atatinkamai kris elektrovaromoji jėga. Tam tikrose ribose galima reguliuoti mašinos elektrovaromoji jėga įterpus į solenoido vingius reostatą, kuriuo, reikalui atsitikus, galima didinti arba mažinti elektromagnetų varža. Šunto mašinoje nėra pavojaus apsigręžimo magnetinio lauko (polaringumo apsigręžimo) ir todel šunto mašinos tinka akumulatoriams užtaisyti ir, aplamai, elektrolitiniams procesams. Prijungus akumulatorių batareją prie mašinos klemų, srovė eis per elektromagneto solenoidus reikiama kryptimi, ir todel srovė iš akumulatoriaus iš pradžios stiprins magnetinį lauką. Kadangi čia mašinos elektrovaromoji jėga atkreipta prieš akumulatorių batarejos elektrovaromąją jėgą, tai, pasiekus mašinos elektrovaromajai jėgai tam tikrą didumą, srovė eis iš mašinos į batareją. Patogumas šitos mašinos akumuloriams užtaisyti pasireiškia dar tuo, kad kįlant batarejos įtempimui efektas bus toks pat, kaip nuo varžos padidinimo darbo tinkle. Vadinasi, srovė elektromagneto solenoiduose stiprės ir elektrovaromoji jėga dinamo mašinos atatinkamai didės. Taigi, didėjant įtempimui batarejos čia atatinkamai didės ir mašinos elektrovaromoji jėga.

Praktikoje, ypač penint šviesos tinklus, svarbu turėti dinamomašina, kurios įtempimas nepareina nuo srovės darbo tinkle. Schemą tokios mašinos rodo 303 piešinys Čia elektromagneto geležies branduolis aprūpintas dviems pavijonėmis, viena iš didelio skaičiaus vingių plonos vielos prijungta šuntu prie šepečių arba prie klemų; antra pavijonė iš nedidelio skaičiaus vingių storos vielos sujungta iš eilės su inkaro pavijone ir darbo tinklu. Taigi, čia mes turime dinamo mašinos tipą, kuriame vartojami tuo pačiu laiku sujungimas elektromagneto pavijonių serija ir šuntu ir todel dinamomašina šito tipo vadinasi kompaundmašina (sudėtinė arba mišra). Grįžtant prie 301 piešinio, charakteringa šitai mašinai kreivoji bus išreikšta linija GE, kuri eina gangreit lygiagrečiai abscisai. Vadinasi, augant srovei darbo tinkle, kitaip sakant, didinant užkrovimą elektrovaromoji jėga tos mašinos nekinta. Taigi, kompaundmašina pasižymi praktiškai nuolatine elektrovaromąja jėga, o tas labai svarbu praktikai. Kadangi kompaundmašinoje mes turime kombinaciją serijos ir šunt - mašinų, tai suprantama, kad jos charakteringa kreivoji GE galima nupiešti sudedant kaip du vektorinius dydžius ordinatas charakteringų kreivųjų OAB serijų mašinos ir CD šunt-mašinos. Nesunku matyti iš 301 piešinio, kad kreivoji GE yra atstojamoji kreivųjų OAB ir CD. Kaip jau pasakyta, kompaundmašinos šiandien daug vartojamos apšvietimo stotyse, ypač, kad, reikalui esant, išjungus serijų pavijonę iš kompaundmašinos, lengva padaryti šunt-mašiną ir naudotis ąja ir akumuliatorių užtaisymo reikalui, ir elektrolitiniams procesams.

Dinamo mašinos ekonomingumu arba naudingumo koeficientu vadinasi ta dalis sukurtos mašinoje elektros energijos, kuri gali būti suvartota darbo tinkle. Pažymėję šitą naudingumo koeficientą raide N, mes turėsime:

$$N = \frac{\text{wattų skaičius darbo tinkle}}{\text{visas wattų skaičius, mašinos sukurtas}}.$$

Šitas santykis vadinasi mašinos elektrišku naudingumu. Aišku, kad jis pareina nuo potencialų skirtumo tarp mašinos bornų arba klemų, nuo srovės J darbo tinkle, nuo armatūros varžos R_a, nuo varžos lauko solenoidų R_m arba, turint šunt-mašiną, nuo šunto varžos R_s.

Serijų mašinai elektros energija darbo tinkle bus lygi EJ wattų. Bet kita dalis wattų bus armatūroje, būtent, $J^2 R_a$, nes potencialo kritimas armatūroje einant Ohmo dėsniu yra JR_a ir srovė serijų mašinos armatūroje yra ta pati kaip ir darbo tinkle, būtent J. Taigi wattų skaičius yra $J^2 R_a$. Taip pat wattų skaičius lauko solenoiduose serijų mašinos yra $J^2 R_m$. Taigi visas mašinos sukurtas wattų skaičius yra $EJ + J^2 (R_a + R_m)$ ir todel tokios mašinos elektriškas naudingumo koeficientas

$$N = \frac{EJ}{EJ + J^2 (R_a + R_m)}.$$

Šunt-mašinoje wattų skaičius darbo tinkle irgi bus EJ. Bet magnetinio lauko solenoiduose, kurie prijungti šuntu, srovė bus kita, ne J, bet i, o potencialo kritimas bus lygus E, t. y. bus lygus potencialų skirtumui tarp mašinos klemų arba bornų. Taigi $E = i R_s$, o iš to: $i = \frac{E}{R_s}$. Kadangi wattų skaičius yra lygus elektrovaromajai jėgai, padauginus į srovę, tai wattų skaičius šunt-mašinos lauko solenoiduose bus: $E \cdot \frac{E}{R_s} = \frac{E^2}{R_s}$. Kadangi darbo tinklas ir lauko solenoidai prijungti šunt-mašinoje prie armatūros lygiagrečiai, tai einant Kirchhofo pirmuoju dėsniu srovė armatūroje bus $I + i = I + \frac{E}{R_s}$, ir todel wattų skaičius armatūroje šunt-mašinos yra $\left(I + \frac{E}{R_s}\right)^2 R_a$. Vadinasi, visas wattų skaičius šunt-mašinos sukurtas yra $EJ + \frac{E^2}{R_s} + \left(I + \frac{E}{R_s}\right)^2 R_a$, ir todel jos elektriškas naudingumo koeficientas

$$N = \frac{EJ}{EJ + \frac{E^2}{R_s} + \left(I + \frac{E}{R_s}\right)^2 R_a}.$$

Dinamo mašinos vartotojui svarbus ne tiek elektriškas mašinos naudingumo koeficientas, kiek jos komercinis naudingumo koeficientas, t. y. santykis wattų darbo tinkle ir mechaninės jėgos, kuri reikalinga mašinos judėjimui palaikyti. Šita mechaninė jėga sukuria elektrinę energiją pavidale elektros srovės ir, be to, padengia kai kuriuos nuostolius energijos šilimos pavidalu, pavyzdžiui, energijos nuostolius del trynimo pakakliuose, del histerezio lauko elektromagnetų geležyje ir t. t. Pažymėsime visus šituos nuostolius raide W. Tad serijų mašinai komercinis naudingumo koeficientas bus:

$$N_k = \frac{EI}{EJ + I^2(R_a + R_m) + W}.$$

Atatinkamai bus komercinis naudingumo koeficientas ir šunt-mašinai. Pagaliau inžinieriui rūpi labiausiai santykis visų mašinos sukurtų wattų ir mechaninės jėgos, reikalingos mašinos judėjimui palaikyti. Šitas santykis vadinamas mechaniniu mašinos naudingumo koeficientu. Taigi, mechaninis naudingumo koeficientas

$$N_m = \frac{EI + I^2(R_a + R_m)}{EI + I^2(R_a + R_m) + W} = \frac{\text{visas wattų skaičius}}{\text{veikianti mašiną mechaninė jėga}}.$$

Iš sulyginimo šitų trijų naudingumo koeficientų aišku, kad mechaninis naudingumo koeficientas $N_m = \frac{N_k}{N_e} = \frac{\text{komercinis naudingumo koeficientas}}{\text{elektrinis naudingumo koeficientas}}$.

Atsiradus pakankamai galingoms dinamo mašinoms nuolatinės srovės, jos tuojau pradėta vartoti apšvietimo ir elektrolizės reikalams ir apie tai čia nebetenka kalbėti. Kiek vėliau nuolatinės srovės dinamo mašinos pradėta taikyti darbo arba energijos perdavimo reikalams: iš vienos pusės įvairiems mechanizmams varyti dirbtuvėse, o iš antros pusės traukai tramvajų miestuose ir geležinkelių traukinių susisiekimui tarp įvairių vietų. Ir vienu ir antru atveju pagrindinis dalykas yra elektrovariklis, arba elektromotoras, kuris iš esmės savo konstrukcija niekuo nesiskiria nuo dinamo mašinos.

Grįždami prie 290 piešinio, prijungsime batareją prie dinamo šepečių B ir A. Tokiu būdu mes paleisime srovę per Grammo žiedo vingius tokia kryptimi, kaip ta srovė eina sukant žiedą laikrodžio rodykle. Bet dabar mes turėsime tarpusavį veikimą tarp magnetinio lauko ir srovės armatūroje. Išdava šito tarpusavio veikimo bus ta, kad armatūra ims suktis, bet priešinga kryptimi, t. y. prieš laikrodžio rodyklę (iš dešinės į kairę pusę). Del šio dalyko nesunku įsitikinti taikant Flemingo kairiosios rankos trijų pirštų taisyklę. Bet sukantis taip armatūrai magnetinis laukas bus irgi pasuktas tam tikru kampu iš kairės į dešinę pusę, ir todel šepečiai B ir A reiks irgi pasukti atatinkamu kampu iš dešinės į kairę pusę. Taigi, tuo būdu mes iš dinamo mašinos padarysime elektros variklį. Leidžiant srovę iš batarejos arba iš kitos dinamo mašinos į armatūrą elektrovariklio, ta armatūra suksis, ir atatinkamai sujungus jos ašį su ašimi to ar kito mechanizmo, tasai mechanizmas bus varomas. Įtaisius vagono apačioje tokį elektrovariklį, atatinkamai krumpliaračiais sujungtą su vagono ašimi, ir penint šitą variklį srove iš stoties, mes varysime vagoną. Srovė galima paleisti per kabelį (laidininką), ištiestą ant stulpų gatvėje, o vienu iš relsų galima pasinaudoti tam, kad toji srovė grįžtų į stotį. Mes tokiu būdu turėsime elektros tramvajų. Galima apsieiti ir be laidininko ore augštai ant stulpų, paėmus vieną bėgį su tarpu per visą jo ilgį, apačioje to bėgio žemėje įtaisius atatinkamą kanalą ir ištiesus laidininką šitame kanale izoliuotai nuo bėgio. Tad srovė bus suteikiama iš stoties vagono varikliui per laidininką kanale ir bus grąžinama į stotį per išilgai perpjautą bėgį. Patogumas elektros energijos yra tas, kad elektros variklis gali būti itin toli nuo stoties. Vadinasi, stoty pagaminta elektros energija per laidininkus galima perduoti dideliam atokumui ir penėti toli nuo stoties variklis, varant su pagalba šito variklio įvairius mechanizmus.

Atkreipsime čia dar dėmesį į tai, kad tuo pačiu laiku, pakeitus srovės kryptį armatūroje ir lauko magnetuose, kryptis armatūros sukimosi nepakitės. Vadinasi, norint

pakeisti armatūros sukimosi kryptį reikia pakeisti srovės kryptį arba armatūroje arba lauko magnetuose. Iš to aišku, kad norint sukti variklį ta pačia prasme, kaip sukasi dinamomašina, prie tos pačios magnetinių laukų dinamo mašinos ir variklio krypties, reikia, kad srovė variklio armatūroje būtų priešingos krypties kaip srovė dinamo mašinos armatūroje. Tokiu atveju reikės variklio šepečiai pavaryti atatinkamu kampu atgal, kad būtų išvengta kibirkščių tarp šepečių ir komutatoriaus plokštelių.

Sukant variklio armatūrą su pagalba srovės iš batarejos arba dinamomašinos, kurios elektrovaromąją jėgą pažymėsime raide E, variklio armatūroje susidaro indukcijos elektrovaromoji jėga priešingos krypties arba vadinama atžagarinė elektrovaromoji jėga e. Jeigu armatūros varža R, tai einant Ohmo dėsniu srovė armatūroje $i = \frac{E-e}{R}$ arba $E - e = i.R$. Variklis gauna iš viso iE wattų, jo sukimui arba machaniškam darbui suvartojama ie wattų. Vadinasi, $iE - ie = i^2 R$ wattų virsta šilima armatūroje einant Joulio dėsniu.

Armatūrai nesisukant $e = 0$. Vadinasi, pridėjus prie variklio klemų arba bornų išorinę elektrovaromąją jėgą E, srovė i variklio armatūroje bus maksimum. Tai yra pavojingas dalykas, nes toki didelė srovė gali sudeginti armatūrą ir geriausiu atsitikimu panaikinti jos izolaciją. Todel paleidžiant variklį visuomet variklio armatūra turi būti sujungta iš eilės su reostatu, kurio visa varža turi būti įjungta į tinklą. Varža, pradėjus suktis variklio armatūrai, po truputį mažinama ir, pasiekus armatūrai reikiamą greitumą, visiškai išjungiama. Vartojant elektrovariklį šitas dalykas visuomet reikia turėti galvoj.

Kalbant apie variklio naudingumą arba našumą N reikia daryti skirtumą tarp elektrinio našumo, komercinio našumo ir mechaninio našumo. Elektriškas našumas

$$N_e = \frac{\text{sukanti armatūrą elektriška jėga}}{\text{visa veikianti elektros jėga}} = \frac{ei}{Ei} = \frac{e}{E}.$$

Vadinasi, elektriškas variklio našumas yra lygus santykiui atžagarinės variklio elektrovaromosios jėgos ir pridėtos prie variklio išorinės elektrovaromosios jėgos.

Komercinis našumas

$$N_k = \frac{\text{stabdžio jėga (Prony stabdys)}}{\text{visa veikianti elektros jėga}}$$ ir techninis arba mechaninis našumas

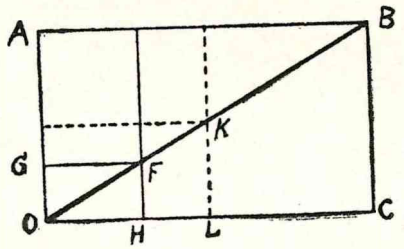
$$N_m = \frac{\text{stabdžio jėga}}{\text{sukanti armatūrą elektriška jėga}}.$$

$$\text{Taigi, } N_e = \frac{N_k}{N_m}.$$

Šie santykiai liečia serijų variklį (varikliai būna taip pat trijų tipų, kaip ir dinamo mašinos, bet dažniausiai vartojami šunt-varikliai). Pažymėsime srovę armatūroje šunt-variklio raide i_a ir šunte i_s. Tad elektros našumas šunt-variklio bus $N_e = \frac{i_a e}{(i_s + i_a) E}$, o komercinis našumas $N_k = \frac{i_a e - W}{(i_s + i_a) E}$. Tuo tarpu komercinį našumą serijų variklio galime išreikšti lygtimi: $N_k = \frac{i_a e - W}{i_a E}$. Čionai W reiškia kaip ir apskaitant dinamomašinos našumą, išeikvotą energiją, kuri virsta šilima del trynimo ašies pakaklėse, del histerezio magnetinio lauko ir armatūros geležyje ir t. t.

Didėjant armatūros greitumui (sukantis jai greičiau) našumas variklio didės. Reikia vienok turėti galvoje, kad greitumas maksimum našumo nebus greitumas maksimum naudingumo, nes maksimum našumą mes turime tada, kada e bus lygus E. Tada

$N_e = \frac{e}{E} = 1$. Bet tada $i = \frac{E-e}{R} = \frac{O}{R} = 0$. Vadinasi, maksimum našumas atatinka srovę nulis armatūroje. Tai reiškia, maksimum našumas bus tokiomis sąlygomis, kuriomis variklis aplamai neveiks. Taigi, vartojant variklius tenka nustatyti sąlygos patogiausio ir naudingiausio variklio greitumo. Eisime duotąja lygtimi: $i(E-e) = i^2R$, iš jos turėsime: $ei = i(E - Ri) = iE - i^2R$. Nupiešime stačiakampį trikampį (žiūr. 304 pieš.) taip, kad katetas OC būtų lygus i (srovei), o katetas BC būtų lygus E (pridėta prie variklio elektrovaromoji jėga). Tad $R = \frac{CB}{OC}$ ir $i = \frac{E}{R} = OC$. Tai bus i maksimum, vadinasi, kada katetas CB = E (pridėta elektrovaromoji jėga). Papildysime dabar šitą stačiakampį trikampį ligi stačiakampio keturkampio OABC. Nesunku matyti, kad plotas keturkampio AF bus lygus elektros jėgai arba elektros energijai, reikalingai varikliui sukti. Iš tikrųjų ta jėga $ei = iE - i^2R = (OH \times OA) - (OH^2 \times \frac{FH}{OH}) = (OH \times OA) - (OH \times FH) =$ plotui keturkampio AF. Šitas plotas AF pasiekia minimumą (plotas darosi lygus nuliui), kada e lygus nuliui ir i = OC. Vadinasi, plotas AF pasieks maksimumą, kada i bus lygus $\frac{OC}{2} = OL$. Bet tai reiškia $\frac{i}{2} = \frac{E-e}{R} = \frac{E}{2R}$, iš to: $e = \frac{E}{2}$. Žodžiu, naudingiausias variklio greitumas atatinka tokią atžagarinę variklio elektrovaromąją jėgą, kuri yra lygi pusei pridėtos prie variklio elektrovaromosios jėgos. Taigi, žinant šitą pridėtą elektrovaromąją jėgą ir naudojantis lygtimi indukcijos elektrovaromajai jėgai, galima apskaityti tinkamiausias armatūros apsisukimų skaičius.



304 pieš.

Perduodant atokumui tam tikrą elektros energijos kiekį EI wattų, kaip jau įrodyta 14 §, reikia imti energiją kiek galint didesnio įtempimo, taip kad per perdavimo laidininkus eitų kiek galint mažesnė srovė. Iš tikrųjų tą patį energijos kiekį mes perduosime paėmę elektrovaromąją jėgą 2E ir srovę $\frac{J}{2}$ $\left(2E.\frac{J}{2} = EI\right)$. Bet palikdami laidininkus to paties ilgio L mes galėsime antruoju atveju sumažinti tų laidininkų skerspjūvį keturis kartus, paėmę vietoj skerspjūvio q tik $\frac{q}{4}$ (padidėjus dusyk elektrovaromajai jėgai ir palikdami to paties ilgio laidininkus, turėsime sumažinti jų skerspjūvį dusyk, kad gautume srovę J. Vadinasi, kad gautume srovę $\frac{J}{2}$, galėsime sumažinti laidininkų skerspjūvį 4 syk). Vadinasi, imdami dusyk didesnio įtempimo elektros energiją, ir leisdami srovę dusyk silpnesnę, mes suvartosime keturis sykius mažiau medžiagos, kaip imdami mažesnį įtempimą E ir didesnę srovę J. Kadangi laidininkų medžiaga, varis, brangus daiktas, tai su šituo faktu tenka rimtai skaitytis perduodant elektros energiją dideliems atokumams. Vadinasi, norint papiginti elektros energijos perdavimą dideliems atokumams, reikia turėti ta energija kiek galint didesnio įtempimo ir imti laidininkai didelės varžos, t. y. vartoti silpnas sroves, nes tada instalacija atsieis ne tik pigiau, bet ir energijos nuostolis laidininkuose (Joulio šilima J^2R) bus relatyviai mažesnis. Taigi, kįlant elektrotechnikai ir atsiradus reikalui elektros energijos perdavimo vis didesniems ir didesniems atokumams, savaime atsirado opus reikalas turėti dinamomašinas didelio įtempimo. Bet konstruoti dinamomašiną nuolatinės srovės didesnio įtempimo kaip 1000 voltų nebeapsimoka, nes prie tokio didelio įtempimo izolacija

tarp kolektoriaus plokštelių apsieina labai brangiai. Paprastai dinamo mašinos nuolatinės srovės didesnio įtempimo kaip 500 voltų labai retai vartojamos del kolektoriaus izolacijos trūkumų, kurių trūkumų negalima pašalinti. Aplamai, kolektorius yra labai brangi dinamo mašinos dalis ir tuo pačiu laiku labai opi dalis, nes ir prie vidutiniškų įtempimų, apie 110 — 220 voltų, vis delto visai pašalinti kibirkščių tarp kolektoriaus plokštelių ir šepečių negalima, o tos kibirkštys naikina kolektorių ir, vadinasi, laikas nuo laiko tenka pamainyti senas kolektorius nauju. Taigi reikalas turėti didelių įtempimų, ir nurodyti šitie nuolatinės srovės dinamomašinos trūkumai privertė elektrotechnikus vėl atkreipti dėmesį į mašinas kintamosios srovės. Kaip paprasčiausia magnetoelektrinė mašina kintamosios srovės (žiūr. 286 pieš.) vietoj kolektoriaus turi du izoliuotus metalinius žiedus ant ašies, prie kurių kietai prijungti galai mašinos armatūros, taip ir dabarties ištobulintos ir milžiniškos dinamomašinos kintamosios srovės neturi kolektoriaus. Vadinasi, kintamosios srovės dinamo mašinos galima turėti žymiai didesnių įtempimų, kaip dinamomašinos nuolatinės srovės. Kad su pagalba mašinos, kurią atvaizduoja 286 piešinys, galima būtų gauti šiek tiek didesnis įtempimas, reikia ji sukti kiek galint greičiau. Bet, padidinę solenoidų skaičių, mes, prie to paties greitumo, jau gausime žymiai didesnę elektrovaromąją jėgą. Taigi, didinant špulių arba solenoidų skaičių ir sukant armatūrą tokiu greitumu, kurį tik leidžia mechaninės mašinos sąlygos, nesunku įvaryti įtempimą ligi keleto tūkstančių voltų ir daugiau, jeigu tik izolacija laidininkų išlaikys. Kadangi elektrotechnika neturi šiandien tokios medžiagos, kuri izoliuotų laidininkus prie labai didelių įtempimų, o ypač kilant tų laidininkų temperatūrai del Joulio efekto ir del histerezio, tai ir dinamomašinos kintamosios srovės retai vartojamos didesnio įtempimo kaip 10000 — 20000 voltų. Konstrukcija tokių mašinų yra gan paprasta. Iš vienos pusės mes turime armatūrą pavidalu milžiniško plieno disko su latakais ant jo periferijos, į kuriuos įdėtos špulės arba solenoidai. Tokių solenoidų ant disko periferijos būna daug, dažnai keli šimtai. Šitas diskas randasi geležinėje kameroje apskritos formos, kurios periferija iš vidaus apklota dideliu skaičiumi elektromagnetų. Tai bus vadinami lauko magnetai, kurie sudaro vainiką apie armatūrą. Šituo atveju sukama ir kiek galint greičiau armatūra. Bet del izolacijos šiandien dažniau sukamas vainikas elektromagnetų, įtaisytų į žiedą, o apie šitą žiedą randasi antras žiedas, nejudomas, su daugybe solenoidų. Savaime suprantama, kad tokių mašinų elektromagnetai reikia žadinti išorine srove, leidžiant tą srovę iš akumulatorių batarejos per elektromagnetų solenoidus arba imant ją iš dinamomašinos nuolatinės srovės. Dažniausiai tokios dinamo mašinos armatūra randasi ant ašies alternatoriaus (taip vadinasi dinamo mašina kintamosios srovės). Kai kada imama atšaka srovės alternatoriaus ir ta srovė su pagalba komutatoriaus paverčiama nuolatine srove, kuri ir leidžiama per induktoriaus elektromagnetus (elektromagnetų vainikas alternatoriuose vadinasi induktorius).

Kaip jau pasakyta, ir tokias mašinas galima konstruoti įtempimams tam tikrose ribose. Bet dažnai elektros energija gaminama tokiose vietose, kur yra pigi vandenų jėga (balta anglis, pavidale vandens krioklio, upės sriauto ir panašiai), o iš tokios vietos dažnai tenka perduoti elektros energija į jos vartojimo vietas atokumuose kelių šimtų kilometrų. Į reikšmę kintamosios srovės dinamų atkreipė dėmesį inžinieriai prancūzai Marsel'is ir Deprez'as 1882 metais, o 1887 metais elektrotechniko prancūzo Gaulard'o ir fiziko Gibbs'o buvo atkreiptas dėmesys į reikšmę transformatorių, perduodant elektros energiją į didelius atokumus kintamosios srovės pavidale. Kaip jau mes matėme 20 §, sulyginti, lengvas ir paprastas dalykas turint kintamąją srovę transformuoti elektros energiją taip, kad būtų gaunama didelio įtempimo energija ir silpna srovė, arba atbulai, kad iš energijos didelio įtempimo būtų gaunama energija mažesnio įtempimo ir stipri srovė. Darbo vietose, kur veikia mechanizmai, svarbu turėti kaip tik stipresnė srovė ir pavojinga turėti didelių įtempimų, ypač kintamosios srovės. Kintamoji srovė įtempimo 100 voltų jau yra pavojinga žmogaus gyvybei (100 voltų nuolatinės srovės visiškai nepavojingas dalykas). Taigi šiandien gaminant elektros energiją kintamosios srovės pavidalu jos perdavimui dideliems atokumams, ji gaminama ne didesnių įtempimų kaip 1000 — 5000 voltų. Bet užtat gamybos vietoje statomas didelis transformatorius, t. y. geležies cilinderis, aprūpintas pirminiu ir antriniu solenoidais,

kaip jau aprašyta 20 §, su kurio pagalba kintamoji srovė vidutiniško įtempimo transformuojama srove didelio įtempimo ligi 20000 voltų ir daugiau ir jau iš transformatoriaus ta atatinkamai nusilpninta srovė didelio įtempimo leidžiama per laidininkus, kurie ištempti izoliuotai ant augštų stulpų su tam tikrais įspėjimais gyventojams, nes prie tokių didelių įtempimų jau ir palietimas stulpo yra labai pavojingas dalykas. Elektros energijos vartojimo vietoje pastatytas kitas transformatorius, kuris transformuoja šitą didelio įtempimo energiją energija įtempimo apie 220—500 voltų ir atatinkamai stipresnes sroves, leidžiant srovę didelio įtempimo per antrinę transformatoriaus špulę ir gaunant mažesnį įtempimą ir atatinkamai stipresnę srovę iš pirminės transformatoriaus špulės. Izolacija transformatorių, kadangi jie nejudomi, yra daug lengvesnis dalykas kaip judomų laidininkų prie didelio įtempimo. Taigi kaip sunku izoliuoti judomieji laidininkai prie įtempimų, didesnių kaip 5000 voltų, nesunku izoliuoti transformatoriaus solenoidai prie įtempimų 20000 voltų ir daugiau. Dažnai tokie transformatoriai įdedami į indus su alyva del geresnės izolacijos. Jeigu įtempimai ne per dideli, tai galima pasitenkti ir oro izolacija. Vadinasi, gamybos vietoje ir vartojimo vietoje neleistini dideli įtempimai, ypač kintamosios srovės. Didelis įtempimas reikalingas tik perduoti elektros energijai. Šituos uždavinius atlieka transformatorius, kuris turi prasmės tik vartojant kintamąją srovę.

Reikalui atsitikus nesunku vartojimo vietoje kintamoji srovė paversti nuolatine srove. Reikia tik kintamąja srove varyti kintamosios srovės variklis, o su ašimi to variklio sujungti ašis dinamo mašinos nuolatinės srovės, kuri tokiomis sąlygomis bus sukama ir duos mums nuolatinę srovę. Toki kombinacija kintamosios srovės variklio ir dinamomašinos nuolatinės srovės vadinasi umformeris arba konverteris.

Prieš išdėstydami alternatorių konstrukciją paliesime čia dar kai kuriuos kintamosios srovės ypatingumus. Iš dalies apie tuos ypatingumus buvo jau kalbėta 17 ir 20 §§. Tų srovių negalima matuoti ampermetrais ir voltmetrais su judomu solenoidu arba judomu magnetu. Bet ampermetrai ir voltmetrai, kurių veikimas nepareina nuo srovės krypties, kaip antai karštos vielos ampermetrai, ampermetrai su nejudomu solenoidu ir šerdimi iš minkštos geležies ir, pagaliau, elektrodinamometrai tinka kintamajai srovei matuoti. Visuose tokiuose instrumentuose atsilenkimas yra proporcingas srovės kvadratui (žiūr. 17 §). Bet kintamoji srovė pasižymi tuo, kad ne tik jos kryptis periodiškai kinta, bet ir jos stiprumas, kuris svyruoja tarp nulio ir tam tikro maksimumo plius ir minus kryptimis. Taigi tikrenybėje instrumento atsilenkimas yra proporcingas aritmetiniam vidutiniškam dydžiui iš sumos srovės kvadratų. Vadinasi, turėdami darbo su kintamąja srove, mes matuojame kvadratinę šaknį iš šito aritmetiškai vidutinio dydžio. Šitas dydis lygus kvadratinei šakniai iš aritmetiškai vidutinio dydžio iš sumos srovės kvadratų ir vadinasi efektyvė srovė. Pažymėsime efektyvę srovę raide i_e, o maksimalę srovę raide i_m. Matematika sako, kad šitoms dviem srovėms veikia toks santykis:

$$i_e : i_m = 1 : \sqrt{2} \text{ arba } i_m = i_e \sqrt{2}.$$

Šito paragrafo pradžioje mes jau matėme, kad elektrovaromoji jėga, kuri susidaro solenoide sukant jį magnetiniame lauke (žiūr. 286 pieš.), yra sinus funkcija laiko. Vadinasi, ta elektrovaromoji jėga pereina per maksimumus ir minimumus. Tegu solenoidas daro n apsisukimų per sekundą. Per sekundą elektrovaromoji jėga pereis per n periodų. Pažymėsime elektrovaromąją jėgą bet kurioje solenoido judėjimo fazėje laiku t sekundų nuo pradžios judėjimo raide E, o maksimalę elektrovaromąją jėgą raide E_m. Tad šitie du dydžiai surišti lygtimi $E = E_m \sin 2\pi n t$, kuri leidžia mums apskaityti, einant maksimale elektrovaromąja jėga, elektrovaromąją jėgą E bet kuriam laikui sekundėmis nuo judėjimo pradžios. Taigi, elektrovaromoji jėga kintamosios srovės gali būti grafiškai išreikšta sinus linija arba paprasta harmoninga bangų linija. Todel didelis autoritetas kintamosios srovės srityje, Silvanus Thompsonas, mano, kad tiksliau būtų šita srovė vadinti bangų srove. Pasirodo, kad efektyvi srovė i_e yra mažesnė kaip srovė $i = \frac{E}{R} = \frac{E_m \sin 2\pi nt}{R}$ einant Ohmo dėsniu. Čia R reiškia elektros tinklo varžą. Vadinasi,

Ohmo dėsnis paprasta forma negali būti taikomas kintamajai srovei. Apie tai jau kalbėta 20 § ir nurodyta ten, kad del saviindukcijos elektros tinklo varža kintamajai srovei yra didesnė kaip nuolatinei srovei. Čia saviindukcija veikia kaip ypatinga elektromagnetinė inercija. Ji mažina srovės amplitūdą, ilgina fazę ir, aplamai, suplokština srovę. Nuolatinės srovės srityje santykis tarp įtempimo ir srovės vadinasi varža. Atatinkamas dydis kintamosios srovės srityje, kaip jau mes žinome, vadinasi impedansas. Tasai impedansas yra lygus santykiui efektyvės elektrovaromosios jėgos ir efektyvės srovės. Kaip jau mes matėme, šitas impendansas galima išreikšti formula: $\sqrt{R^2+4\pi^2n^2L^2}$ (del reikšmės pavartotų čia ženklų žiūr. 20 §). Efektyvei srovei i_e, efektyvei elektrovaromajai jėgai E_e ir impedansui veikia Ohmo dėsnis. Vadinasi, $i_e=\frac{E_e}{\sqrt{R^2+4\pi^2n^2L^2}}$. Ši yra antroji kintamosios srovės ypatybė.

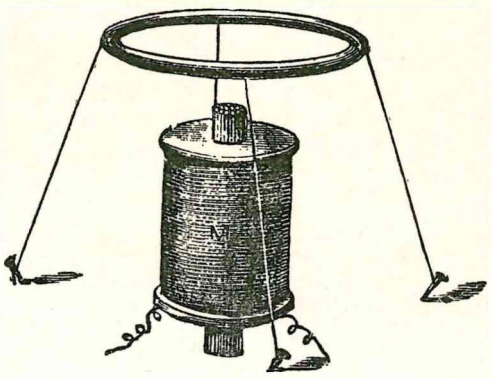
Pagaliau, trečia kintamosios srovės ypatybė yra ta, kad elektros tinklo saviindukcija, arba elektromagnetinė inercija, sudaro fazių skirtumą tarp elektrovaromosios jėgos ir srovės. Jau mes matėme 20 §, kad del saviindukcijos srovė pasiekia maksimumus ir pereina minimumus vėliau kaip elektrovaromoji jėga. Pažymėsime šitą srovės pasivėlavimą arba fazių skirtumą elektrovaromosios jėgos atžvilgiu raide δ. 20 § jau mes matėme, kad šitas dydis surištas su tinklo saviindukcija ir varža tokia lygtimi: $\operatorname{tg}\delta=\frac{2\pi nL}{R}$. Pažymėsime impedansą raide R_s. Tad mes turėsime tokius santykius: 1) efektyvei elektrovaromajai jėgai $E_e = E_m \sin 2\pi nt$; 2) efektyvei srovei $i_e = \frac{E_m}{R_s}\sin(2\pi nt-\delta)$.

Kada tinklo varža R yra labai mažas dydis, o kintamoji srovė yra didelio dažnumo, tai $\operatorname{tg}\delta=\frac{2\pi nL}{R}$ bus labai didelis dydis ir tada δ labai maža skirsis nuo $\frac{\pi}{2}$. Vadinasi, tokiu atveju skirtumas fazių bus lygus ketvirtai daliai periodo, ir srovė pasieks maksimumą, kada elektrovaromoji jėga bus lygi nuliui, ir atbulai.

Nurodyto čia fazių skirtumo išdava yra visų pirma ši, kad srovės energija nėra lygi $E_e \cdot i_e$, o yra lygi $E_e\, i_e \cos\delta$ wattų. Taigi, srovės energija, arba srovės darbas, mažėja didėjant fazių skirtumui δ ir atbulai. Tas srovės darbas yra lygus nuliui, kada $\delta=\frac{\pi}{2}$. Toki kintamoji srovė vadinasi srove be wattų. Aplamai, esant fazių skirtumui tarp elektrovaromosios jėgos ir srovės, kintamoji srovė veikia tai ta pačia prasme kaip elektrovaromoji jėga, tai priešinga prasme. Pastaruoju atveju srovė, taip sakant, padeda suktis armatūrai, nes sukant armatūrą magnetiniam lauke indukcijos elektrovaromoji jėga visuomet veikia tokia kryptimi, kad tas sukimas būtų sustabdytas. Vadinasi, kada srovė veikia prieš elektrovaromąją jėgą, tai ji padeda sukimui.

Nepaprastai įdomūs yra reiškiniai, kaipo išdava fazių skirtumo del saviindukcijos, pastebimi veikiant indukcijai tarp pirminės ir antrinės špulių. Pažymėsime efektyvę srovę pirminėje špulėje raide i_1 ir maksimalę srovę pirminėje špulėje raide i_{1m}. Tad $i_1 = i_{1m} \sin 2\pi nt$. Saviindukcijos elektrovaromoji jėga pasiekia pirminėje špulėje maksimumą, kada kintamoji srovė pirminėje špulėje kinta smarkiausiai, t. y. kada ta srovė eina per nulį, bet antrinėje špulėje indukuota elektrovaromoji jėga turi visuomet priešingą ženklą kaip srovė pirminėje špulėje. Vadinasi, indukuotai elektrovaromajai jėgai antrinėje špulėje veikia lygtis $E_2 = -E_{2m}\cos 2\pi nt$, nes srovei pirminėje špulėje veikia sinus lygtis. Ir indukuota srovė antrinėje špulėje $i_2 = -i_{2m}\cos(2\pi nt-\delta)$, jeigu fazių skirtumas tarp indukcijos elektrovaromosios jėgos antrinėje špulėje ir srovės bus δ. Tegu $\delta=\frac{\pi}{2}$. Tad $i_2 = -i_{2m}\cos\left(2\pi nt-\frac{\pi}{2}\right) = -i_{2m}\sin 2\pi nt$. Sulygindami šitą formulą antrinės srovės su formula pirminės srovės mes matome, kad pirminė ir antrinė srovė tuo pačiu laiku pasiekia maksimumą ir tuo pačiu laiku eina per nulį, bet visuomet turi priešingus ženklus, vadinasi. visuomet tos dvi srovės, atkreiptos viena

prieš antrą. Kaip jau mes matėme 17 §, tarp tokių dviejų srovių veikia atsparos jėgos, ir todel turint darbo su stipriomis srovėmis mechaniškas efektas būna nuostabus. Į tai pirmutinis atkreipė dėmesį Elihu Thomsonas dar 1887 metais ir demonstravo šitą smarkų mechanišką efektą įvairiais būdais, iš kurių mes čia paminėsime tik vieną (žiūr. 305 pieš.). Paimsime špulę su dideliu skaičiumi vielos vingių ir su geležine šerdimi, sudaryta iš geležies plokštelių arba vielų (kad būtų eliminuotos Foucault'o srovės) ir užmausime ant išsikišusios geležinės šerdies viršutinio galo didoką žiedą iš gero laidininko, vario arba aluminio. Paleidus kintamąją srovę per špulę, žiedas veiks kaip antrinė špulė ir joje susidarys stipri indukcijos srovė priešingos krypties kaip špulėje. Todel žiedas su didele jėga bus atmuštas augštyn. Aprūpinus žiedą stipriais siūlais ir pririšus tų siūlų galus prie sraigtų, įvarytų į stalą, paleidus kintamąją srovę į pirminę špulę žiedas pakils augštyn ir kabės ore. Turint didelę špulę ir stiprią kintamąją srovę galima pakelti ore žiedas arba vario masė nuo 10 ligi 20 svarų svorio. Galima ir taip daryti eksperimentą, kad didelė masė pakibtų ore kaip Mahometo karstas, jeigu būtų pusiausvyra tarp elektrinių atsparos jėgų ir svorio jėgos.



305 pieš.

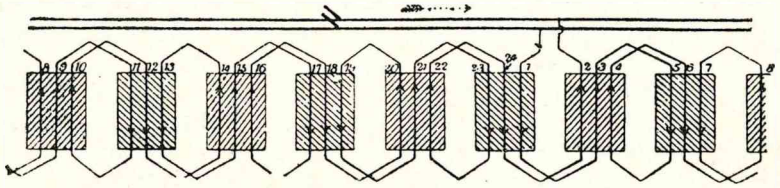
Turint darbo su alternatoriais ir su transformatoriais reikia turėti galvoje nurodyti čia kintamosios srovės ypatumai ir jos efektai ir reikia pasirūpinti, kad kai kurie iš tų efektų, kaip čia paminėtas, neįvyktų.

Paprasčiausį alternatorių rodo 286 piešinys. Bet jo efektas yra silpnas todel, kad čia mes turime tik vieną solenoidą. Kaip jau augščiau pasakyta, efektas galima sustiprinti didinant greitumą (sukant judomąją dalį greičiau) ir didinant skaičių solenoidų (aplamai, didinant skaičių laidininkų) ir skaičių elektromagnetinių polių. Greitumui ribos nustatomos mechaniškos konstrukcijos sąlygomis, ir, paprastai, dideli alternatoriai daro ne daugiau kaip 500 apsisukimų per minutę. Iš šitų ribų išeiti būtų jau pavojingas dalykas. Taigi efektui sustiprinti pasilieka tik didinimas skaičiaus armatūros solenoidų ir induktoriaus polių (induktorius — ta dalis alternatoriaus, kuri laiko elektromagnetus).

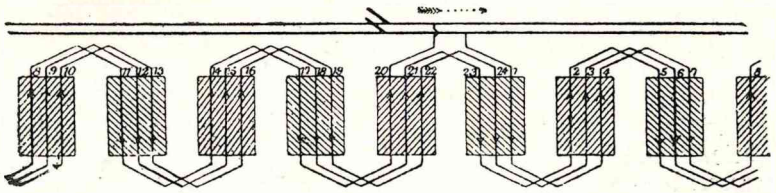
Kadangi tose dalyse armatūros, kurios tuo pačiu laiku užima atatinkamas padėtis ties šiaurės poliais ir pietų poliais, indukuota elektrovaromoji jėga turi priešingus ženklus, tai reikia tos dalys atatinkamai sujungti, kad indukuota srovė tekėtų jose ta pačia kryptimi. Bet, jeigu mes turime induktorių su visa eile polių ir visa eile solenoidų armatūroje, tai nesunku suvokti, kad toksai sujungimas visų solenoidų armatūros galimas bus tik tada, kada armatūroje yra tiek solenoidų, kiek polių turi induktorius. Tada kiekvienu momentu kiekvienoje fazėje indukuota srovė armatūros laidininkuose bus tos pačios krypties, ir ta kryptis keisis atatinkamai visuose laidininkuose tuo pačiu laiku. Toki srovė vadinasi vienfazine srove ir tokios srovės generatorius, arba alternatorius, vadinasi vienfazinis.

Bet tokiomis sąlygomis ant alternatoriaus žiedo (iš geležies) arba dažniau ant būgno, arba pagaliau ant disko (didelio skritulio) su išpjautais ant jo periferijos tarpais, į kuriuos įdedami izoliuoti laidininkai, pasiliks daug neužimtos vietos. Vadinasi, medžiagos ir erdvės santykiai nebus tinkamai sunaudoti. Dalykas tas, kad stiprinant efektą laidininkų skaičiaus didinimu, reikia tie laidininkai suglausti kiek galint labiau, vienu žodžiu, reikia kiek galint labiau sumažinti platumas laidininkų pluošto. Tegu, pavyzdžiui, mes turime po vieną laidininką ties pat viduriais polių galūnių ir tegu efektyvi elektrovaromoji jėga tuose laidininkuose bus 1 voltas. Paėmę tris tokius laidininkus ties viduriu kiekvieno polio, mes tik tada gausime efektyvę elektrovaromąją jėgą 3 voltai, jeigu tie trys laidininkai, sujungti iš eilės vienas su kitu, bus įtaisyti vienas viršuj kito,

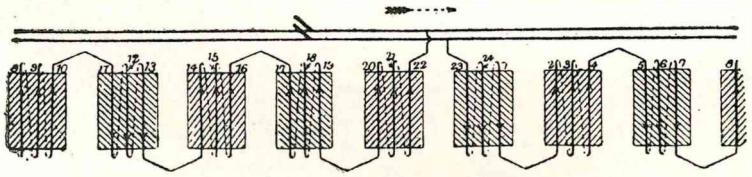
nes tik šiomis sąlygomis tokie trys laidininkai tuo pačiu laiku turės maksimum elektrovaromąją jėgą. Įtaisius, sakysime, tuos tris laidininkus greta, vadinasi, padidinus sudaryto iš jų pluošto platumą, maksimumo arba minimumo elektrovaromoji jėga pasireikš juose ne tuo pačiu laiku, ir todel efektyvė elektrovaromoji jėga bus ne trys voltai, o mažesnė. Šita aplinkybė verčia suglausti laidininkus kiek galint labiau ir, be to, išnaudoti kiek galint didesnę dalį armatūros branduolio periferijos. Bet tada jau nebegalima sujungti visų solenoidų iš eilės taip, kad indukuota elektrovaromoji jėga juose veiktų kiekvienoje fazėje ta pačia kryptimi. Turint solenoidų dusyk daugiau kaip induktoriaus polių, galima iš solenoidų sudaryti dvi grupės, taip kad kiekvienoje grupėje srovė bus tos pačios fazės. Tada mes turėsime dvi sroves, kurios skirsis fazėje, vadi-



306 pieš.



307 pieš.



308 pieš.

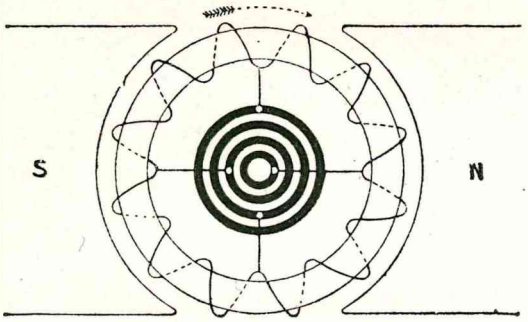
nasi, turėsime generatorių dvifazinės srovės. Kada solenoidų skaičius bus 3 syk didesnis kaip induktoriaus polių skaičius, tai galima solenoidai sujungti trimis grupėmis. Kiekvienoje grupėje mes tada turėsime srovę tam tikros fazės, ir toksai generatorius bus trifazinės srovės generatorius. Suglausdami dar smarkiau solenoidus mes galime sudaryti iš jų daugiau grupių su srove tam tikros fazės kiekvienoje grupėje, ir tada turėsime generatorių daugfazinės arba polifazinės srovės.

Jungiant solenoidus vartojami trys pagrindiniai sujungimo būdai, būtent: 1) kilpų sujungimas (žiūr. 306 pieš.), 2) bangų sujungimas (žiūr. 307 pieš.) ir 3) žiedo sujungimas (žiūr. 308 pieš.).

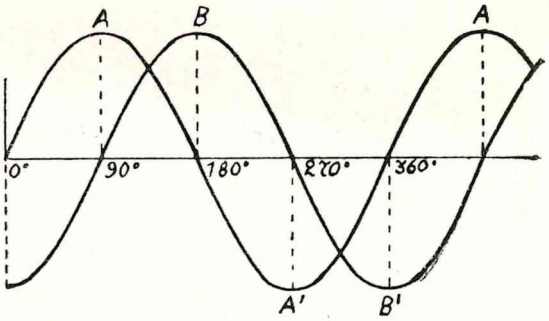
Pirmieji du sujungimo būdai vartojami tik būgno inkarui ir skritulio inkarui, nes juose visos pavijonės randasi ant išorinio paviršiaus branduolio. Kadangi kiekvienam laidininke, kuris eina pro šalį šiaurės polio, indukuojasi elektrovaromoji jėga tam tikros krypties, o laidininke, kuris eina pro šalį pietų polio, indukuojasi elektrovaromoji jėga priešingos krypties, tai aišku, kad kiekvienas laidininkas vienos grupės turi būti taip sujungtas su atatinkamu laidininku antros grupės, kad per vieną laidininką, sakysime, srovė eitų žemyn, o per kitą augštyn, žiūrint elektrovaromosios jėgos krypties.

Vadinasi, reikia sujungti laidininkas, kuris, sakysime, ties šiaurės poliu eina žemyn, su laidininku, kuris ties pietų poliu eina augštyn. Tas pats reikia padaryti ir laidininkams, kurie užima kitas padėtis šiaurės ir pietų polių atžvilgiu. Tokį sujungimą galime atlikti dviem būdais: kilpomis ir bangomis, kaip rodo 306 ir 307 piešiniai. Kad suprastume šituos piešinius, įsivaizduokime elektromagnetų žiedą su aštuoniais poliais iš eilės N, S, N ir t. t. ištiesta linija. Kaip rodo 306 piešinys, sujungiant kilpomis kiekvienas kilpų elementas arba kilpų grupė užima plotį nuo vieno polio vidurio ligi kito polio vidurio.

Čia mes turime iš viso 24 laidininkus, ir kilpos iš eilės suka tai iš kairės į dešinę pusę, tai iš dešinės į kairę pusę. 307 piešinys atvaizduoja bangų sujungimą to paties skaičiaus laidininkų. Elektrovaromoji jėga tokių dviejų mašinų bus ta pati ir pasirenkant tą ar kitą būdą laidininkų sujungimo tenka vaduotis tik mechaniškos konstrukcijos patogumo ir kainos atžvilgiais. Pagaliau 308 piešinys atvaizduoja žiedo sujungimą to paties laidininkų skaičiaus. Savaime aišku, kad tasai žiedo sujungimas vartojamas tada, kada armatūros branduolis turi žiedo pavidalą. Visais atvejais pradžia ir galas pavijonių reikia prijungti prie dviejų izoliuotų misinginių žiedų ant ašies, vadinamų šliaužimo arba kontakto žiedų (žiūr. 286 pieš.), nuo kurių srovė per šepečius arba plokšteles patenka į išorinį tinklą. Piešiniuose 306 — 308 tie du žiedai parodyti dviejų tiesių linijų pavidalu (žiedai ištempti linijomis, kaip visa armatūra ištiesta linija).



309 pieš

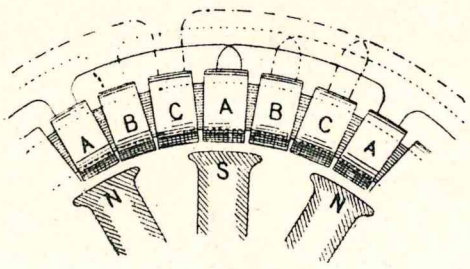


310 pieš.

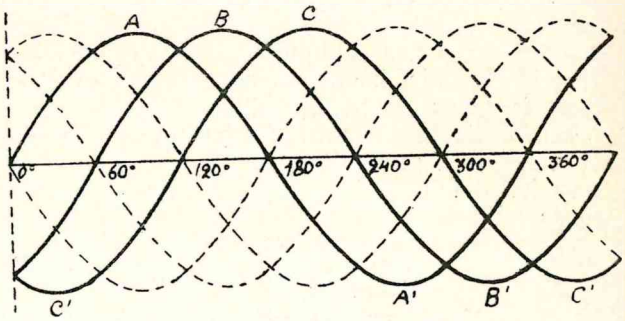
Iš to, kas augščiau pasakyta, aišku, kad gaminant vienfazinę srovę, pasilieka ant armatūros branduolio sulyginti daug nesunaudotos pavijonėmis vietos tarp atskirų špulių arba solenoidų. Generatorius dvifazinės srovės šituo atžvilgiu yra tikslesnis, nes jame, sulyginti, mažiau vietos, nesunaudotos pavijonėmis. 309 piešinys atvaizduoja schematiškai tokį generatorių dvifazinės srovės paprasčiausios konstrukcijos. Čia mes turime dvipolinį lauką ir žiedo inkarą su keturiomis špulėmis. Ant ašies randasi keturi izoliuoti kontakto žiedai. Prie tų kontakto žiedų, kaip rodo 309 piešinys, prijungti galai keturių špulių. Aišku, kad iš šitos mašinos galima gauti dvi atskiros kintamosios srovės, kurios skirsis fazėje per $^1/_4$ periodo. Apie tokias sroves sakoma, kad jos randasi kvadratūroje. Tokias dvi sroves grafiškai atvaizduoja 310 piešinys.

Generatorių trifazinės srovės mes gausime, paėmę ant armatūros žiedo tris taškus atokume 120^0 vienas nuo antro ir prijungę šituos tris taškus prie trijų izoliuotų kontakto žiedų ant ašies. Mes tada turėsime tris grupes špulių, ir kiekvienoje grupėje kintamąją srovę tam tikros fazės. 311 piešinys schematiškai atvaizduoja trifazinės srovės generatoriaus dalį. Čia mes matome tris polius ir 9 špules. Sujungtos tarp savęs špulės A visos ties pat polių galūnėmis, špulės B visos į dešinę pusę nuo galūnių ir špulės C visos į kairę pusę nuo polių galūnių. Špulės A iš eilės apvyniotos į dešinę ir į kairę pusę. Tas pats reikia pasakyti apie špules B ir C. Taigi mes čia turime tris srovės ratus arba tinklus, ir kiekviename iš tų tinklų elektrovaromosios jėgos kįla ir krinta taisyklingai ir nuosekliai. Bet elektrovaromoji jėga špulėse B pasiekia mak-

simumą tada, kada jau elektrovaromoji jėga špulėse A perėjo per tą maksimumą ir krinta. Skirtumą fazių elektrovaromųjų jėgų atskirose špulių grupėse atvaizduoja grafiškai 312 piešinys. Čia skirtumas fazių yra lygus 60°. Tarp dviejų artimiausių šiaurės polių (arba dviejų artimiausių pietų polių) mes turime čia 6 špules, o kampinis atokumas tarp dviejų artimiausių tos pačios rūšies polių atatinka vienam pilnam periodui, t. y. kampui 2π radianais arba 360°. Kampinis tad skirtumas tarp atskirų špulių bus $\frac{360}{6} = 60^0$. Aplamai, fazių skirtumas yra apibrėžtas kampiniu špulių platumu ir, be to, pareina nuo skaičiaus špulių tarp dviejų artimiausių tos pačios rūšies polių, ir trifazinei srovei tasai dydis gali būti ir 60° ir 120°.

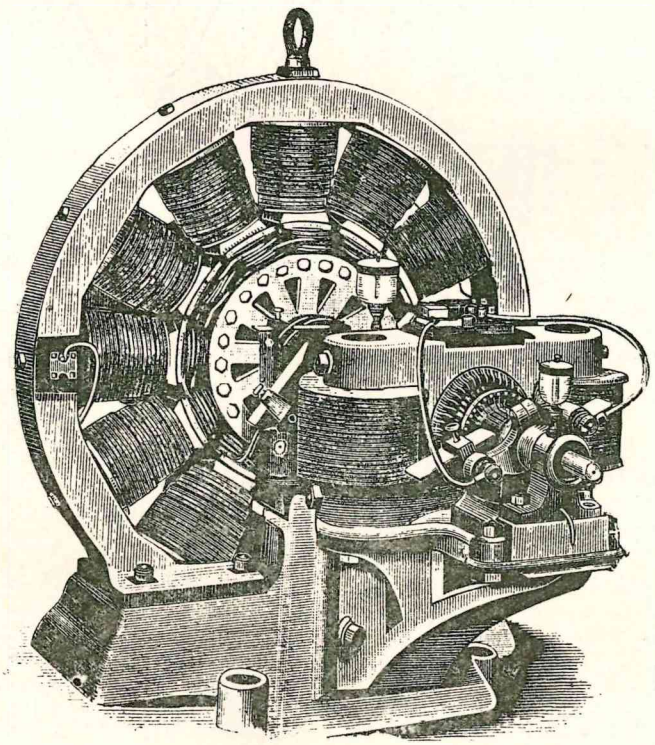


311 pieš.



312 pieš.

313, 314 ir 315 piešiniai rodo išorinę kintamosios srovės generatorių (alternatorių) formą su judoma armatūra ir su judomu induktorium (t. y. su nejudoma armatūra).



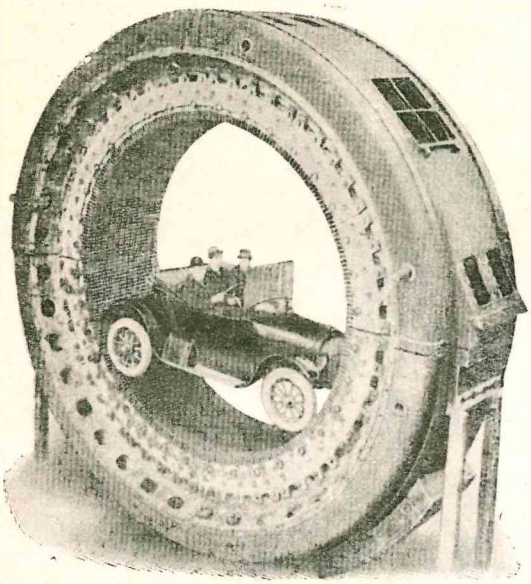
313 pieš.

313 piešinys atvaizduoja Hopkinsono mašiną su nejudomu induktorium (su vainiku iš visos eilės elektromagnetų). Šito vainiko vidury sukasi armatūra. Iš pryšakio matyt nuolatinės srovės dinamomašina žadinti induktoriaus elektromagnetams. Dinamomašina pastatyta ant konsolės, ir jos inkaras sujungtas su alternatoriaus ašimi.

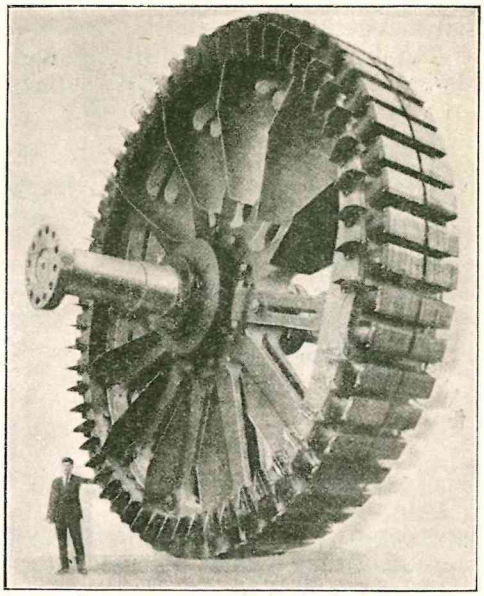
Mūsų laikais dažniau vartojami alternatoriai su judomu induktorium ir nejudoma armatūra. Nepaprastas šitų mašinų didumas matyti iš 314 ir 315 piešinių. 314 piešinys atvaizduoja nejudomą armatūrą (statorių) trifazinės srovės generatoriaus 22.000 kilowattų jėgos (apie 30.000 arklių) elektros centralės Glomfiorde Norvegijoje. Tai yra centralė, vartojanti vandens krioklio jėgą. Apie didumą statoriaus galima spręsti iš to, kad jo vidury lengvai tilpsta automobilius 30 arklių jėgos. Induktorių arba elektromagnetų vainiką šito generatoriaus atvaiz-

duoja 315 piešinys. Tasai induktorius vadinasi rotorius, nes jis sukasi. Apie jo didumą galima spręsti sulyginus greta stovinčio žmogaus augštumą su to induktoriaus augštumu. Bet tai yra dar ne didžiausias generatorius. Šiandien yra generatorių 114.000 kilowattų jėgos (apie 150.000 arklių), milžiniškų išmatavimų.

Kaip jau augščiau pasakyta, kintamoji srovė, be jokių kliūčių ir komplikacijų, galima taikyti apšvietimo reikalams. Šita srove, lygiai kaip ir nuolatine srove, galima penėti kaip kaitinimo lempos, taip ir lanko lempos. Taip pat ja lengva naudotis gaunant augštų temperatūrų elektros krosnyse, kurios vartojamos elektrometalurgijoje. Bet iš pradžios buvo sunkenybių perduodant jėgą su pagalba kintamosios srovės. Lygiai kaip nuolatinės srovės dinamomašina su labai mažomis atmainomis konstrukcijoje gali būti pavartota varikliu (kaipo jėgos mašina), taip ir dinamomašina kintamosios srovės veikia varikliu leidžiant į jos armatūrą kintamąją srovę iš kitos mašinos. Bet tai ga-



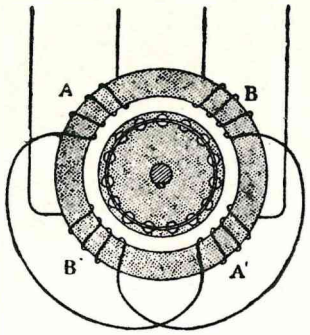
314 pieš.



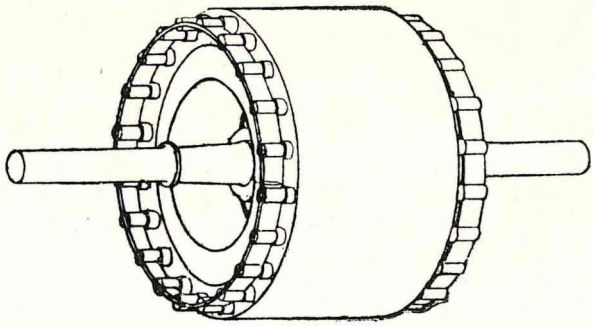
315 pieš.

lima tik tada, kada abidvi mašinos visiškai vienodos srovės atžvilgiu ir nustatytos ant to paties skaičiaus apsisukimų, kitaip sakant, kada jos sinchroninės. Jeigu šita sąlyga išpildyta, tai tada srovė špulėse variklio kinta tuo pačiu laiku (sinchroniškai), kaip apsigręžia arba apsiverčia elektromagnetų poliai, ir tik tokiomis sąlygomis elektromagnetinė jėga suks vainiką špulių visuomet ta pačia kryptimi. Jeigu del kokios nors priežasties, sakysime, del smarkesnio apkrovimo variklio, šitas sinchronizmas bus panaikintas, tai kryptis elektromagnetinės jėgos keisis ir, užuot sukęsis tam tikra kryptimi špulių vainikas, jisai bus sulaikomas, ir variklis sustos. Taigi, reikalas suderinti penimąjį generatorių ir variklį kintamosios srovės fazės atžvilgiu, reikalas padaryti juos sinchroniškais ir daboti, kad tas sinchronizmas nebūtų panaikintas, iš pradžios smarkiai komplikavo taikymą kintamosios srovės jėgos perdavimo tikslams. Bet 1888—1890 metais šitas klausimas buvo išspręstas, galima sakyti, tuo pačiu laiku inžinierių elektrikų Ferranti, Tesla ir Dolyvo-Dobrovolskio, kurie atkreipė dėmesį į didelę reikšmę dvifazinės ir trifazinės srovių jėgos perdavimo reikalams ir sugalvojo variklius dvifazinės, trifazinės ir net daugfazinės srovės. Principą tokių variklių galime suvokti iš 316 ir 317 piešinių. Mechanika moko, kad sudedant du svyravimus išilgai dviejų linijų, kurios sudaro tiesų kampą, gaunama judėjimas ratu, kada tie du svyravimai skiriasi fazėje per $^1/_4$ periodo (90^0) ir kada jų amplitūdos lygios. Jeigu amplitūdos dviejų svyravimų tiesiu kampu vienos an-

tro atžvilgiu nevienodos, tai prie fazių skirtumo 90° tie du svyravimai duoda judėjimą elipse. Taip pat judėjimą elipse duoda ir du tokie svyravimai, kurių amplitūdos lygios, bet kurie skiriasi fazėje kampu, mažesniu kaip 90° (apie tai žiūr. „Fizikos paskaitų“ IV skyrių 3—8 pusl.) Mašinų praktikoje yra tai paprastas dalykas sukti tas pats velenas su pagalba dviejų garinių mašinų, suderinus jas taip, kad jų švaistuokliai veiktų tą patį skriejiką, svyruojant vienam švaistuokliui gulsčia kryptimi, o antram vertikale kryptimi. Reikia tik išpildyti tą sąlygą, kad tarp dviejų svyravimų būtų fazių skirtumas $^1/_4$ periodo. Taip suderintos dvi garinės mašinos suks tą patį veleną. 316 piešinys atvaizduoja šito principo pritaikymą kintamosios srovės srityje. Čia mes turime geležinį žiedą, padirbtą iš atskirų sulenktų geležies lapų (išvengti Foucault'o srovėms) ir aprūpintą dviem poriais špulių AA' ir BB'. Šitos špulės galima įjungti į tinklą dvifazinės srovės generatoriaus (žiūr. 309 piešinį). Kadangi skirtumas fazių tarp dviejų srovių čia yra lygus 90° ($^1/_4$ periodo), tai tuomet, kada kintamoji srovė špulėse AA' pasiekia maksimumą, špulėse BB, ji yra lygi nuliui. Špulių AA' magnetinamasai veikimas stengiasi sudaryti magnetinį lauką skersai geležies žiedo kryptimi BB'. Bet silpnėjant srovei špulėse AA' ji stiprėja špulėse BB' ir todel magnetiniai poliai varomi pirmyn (sukami). Kada srovės špulėse AA' ir BB', silpnėjant vienai srovei ir stiprėjant antrai srovei, pa-



316 pieš.

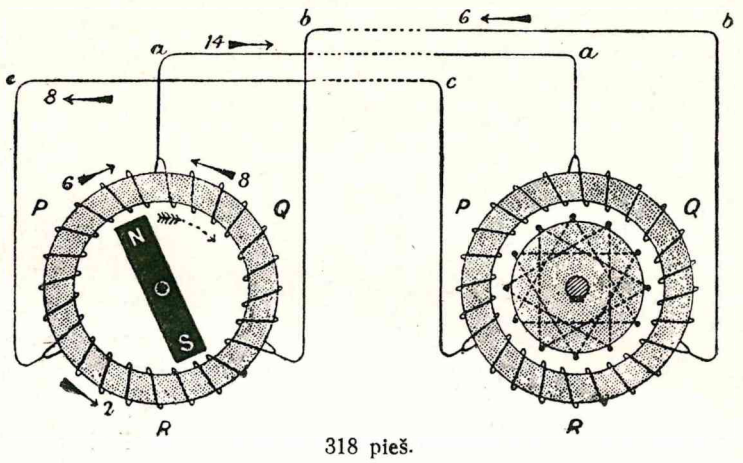


317 pieš.

sidarys lygios, tada špulės A ir B veikia kaip viena špulė. Taip pat ir špulės A' ir B'. Tada abudu magnetiniai poliai randasi iš dešinės pusės žiedo tarp B ir A' ir iš kairės pusės žiedo tarp B' ir A. Kada srovė pasiekia maksimumą špulėse BB' ji yra lygi nuliui špulėse AA'. Tada poliai randasi kaip tiktai skersai diametro BB', t. y. ties špulėmis AA'. Taigi paleidus per špulęs AA' ir BB', dvifazinę srovę, poliai suksis žiede visą laiką, sakysime, laikrodžio rodikliu (nuo A per B' A' B ir t. t.). Vadinasi, mes gausime čionai sukamąjį magnetinį lauką. Todel bet kuri geležies masė, sakysime, geležies cilinderis, padėtas tokiam magnetiniam lauke, ims suktis, nors ir nebūtinai, sinchroniškai. Taip pat suksis ir vario cilinderis del indukuotų jame sukamuoju magnetiniu lauku Foucault'o srovių. Bet, kad tos Foucault'o srovės būtų kiek galint daugiau sunaudotos sukimui ir mažiau virstų šilima, nes šilima visuomet reiškia energijos nuostolį, sukamajai daliai priduodama konstrukcija, kurią atvaizduoja 317 piešinys. Ta sukamoji dalis yra geležinis tuščias cilinderis, apsuptas atatinkamai uždarytomis vario vielos kilpomis, kuriose veikia indukcijos srovės. Taigi mes čia turime labai paprastą būdą suvartoti dvifazinei kintamajai srovei tam, kad sudarytume sukamąjį magnetinį lauką ir, vadinasi, sudarytume sukimą geležies cilinderio, padėto tame lauke. Tokie kintamosios srovės varikliai yra asinchroniški varikliai ir jie dabartiniu laiku yra paprasčiausias ir pigiausias būdas gauti iš elektros energijos mechaniniam judėjimui. Kadangi čia sunku pasakyti, kuri dalis yra armatūra, o kuri induktorius, tai, aplamai, sukamoji dalis vadinama rotorium, o nejudomoji — statorium. Toki srovė, kurí sudaro sukamąjį lauką, vadinasi sukamoji srovė.

Sukamąjį lauką galime gauti ir su pagalba trifazinės arba, aplamai, daugfazinės srovės. 318 piešinys atvaizduoja schemą sujungimo dviejų mašinų trifazinės srovės, iš

kurių viena vaidina srovės generatoriaus rolę, o antra variklio. Generatoriaus armatūra atvaizduota čia pavidalu geležies žiedo, aprūpinto 3 špulėmis, kurių galai sujungti tarp savęs. Induktorius šito generatoriaus atvaizduotas magneto NS pavidalu. Sukantis tam magnetui pavijonėse susidaro trys srovės, kurios šituo atveju skirsis fazėje per 120°. Prie mazgų, kuriuose sueina pavijonių arba špulių galai, prijungti 3 laidininkai a, b ir c. Aišku, kad srovė kiekviename iš tų laidininkų kiekvienu momentu yra lygi algebriškai sumai srovių kituose dvejuose laidininkuose, o fazės srovių kiekviename laidininke randasi tarp fazių srovių abiejų pavijonių arba špulių, kurios duoda srovę laidininkui. Variklis (žiūr. iš dešinės pusės 318 pieš.) atvaizduotas čia irgi geležies žiedo pavidalo su trimis pavijonėmis arba špulėmis, kurių galai suvesti į tris mazgus. Tai bus variklio statorius. Variklio rotorius toks, kaip jau parodyta 317 piešiniu. Trys laidininkai a, b, c, kurie eina nuo generatoriaus, prijungti antrais savo galais prie mazgų variklio statoriaus. Aišku, kad srovė variklio špulėje p fazės atžvilgiu randasi tarp srovių laidininkuose c ir a. Šitos trys srovės sudaro variklio žiede PQR klajojamuosius polius ir, vadinasi, sukamąjį magnetinį lauką. Taigi armatūra, įtaisyta žiedo vidury, sukasi.



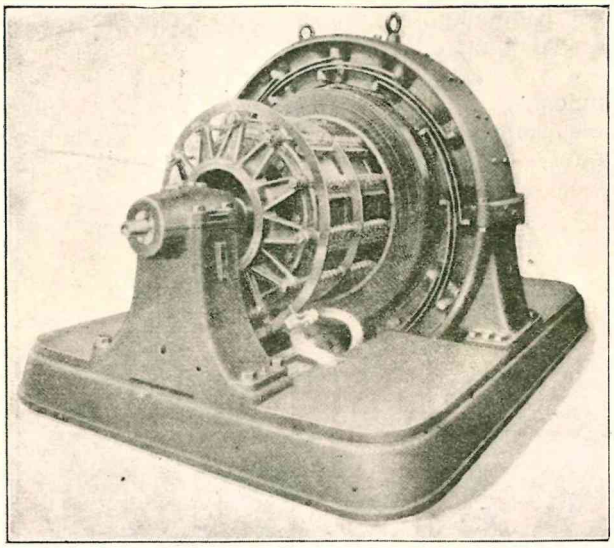
318 pieš.

Yra įvairių būdų sujungti trims pavijonėms arba trims špulėms, kad būtų gautas sukamasis laukas. Galime kiekvienos generatoriaus špulės galus sujungti dviem atskirais laidininkais su špulės variklio galais. Bet tada reikia ištiesti 6 laidininkai. Toliau galime tris galus generatoriaus špulių su pagalba trijų laidininkų sujungti su atatinkamais trimis galais variklio špulių, o kitus tris galus galime prijungti prie vieno bendro laidininko kaip iš pusės variklio, taip ir iš pusės generatoriaus, taip kad per tą bendrą laidininką srovė grįš atgal iš variklio į generatorių. Tuo atveju sistema turės keturis laidininkus. Pagaliau, galime tris špules a, b, c suvesti vienais galais į viena mazgą, o kitus galus prijungti prie trijų laidininkų arba galime iš šitų trijų špulių sudaryti vieną uždarytą tinklą ir jau nuo to tinklo trijų mazgų ištiesti tris laidininkus (šitą schemą rodo 318 piešinys). Tokiu atveju sistema turės tik tris laidininkus.

Trifazinę srovę su fazės skirtumu 60° (žiūr. 311 ir 312 pieš.) galime lengvai paversti srove su fazės skirtumu 120°, apgręžę sujungimus vienos iš špulių ant kiekvieno jos galo. Tada mes gausime tokią pat kombinaciją, kaip atvaizduota 318 piešinio.

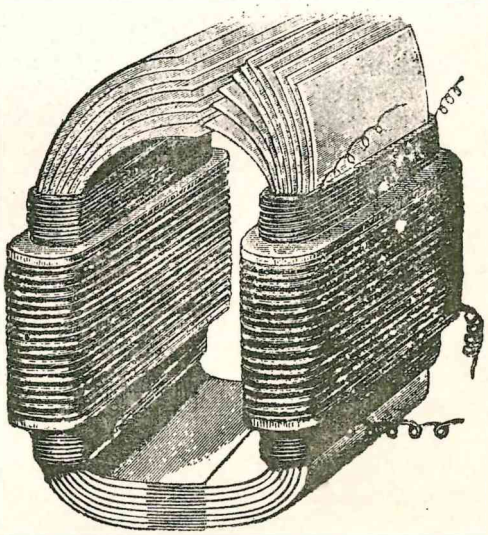
Konstrukcija kintamosios srovės generatorių, kaip jau paminėta, yra prastesnė ir lengvesnė kaip konstrukcija nuolatinės srovės generatorių, nes pirmuoju atveju yra nereikalingas komutatorius, kuris yra brangi ir opi mašinos dalis. Taigi žymiai pigesne kaina galima pastatyti alternatorius didesnės jėgos kaip nuolatinės srovės generatoriai. Todel jau iš pat pradžios buvo norima vartoti elektrotechnikos reikalams alternatoriai. Tokį vartojimą trukdė kurį laiką sunkenybės, surištos su pritaikymu kintamosios srovės jėgos perdavimo tikslams. Mūsų aprašytas metodas sudaryti sukamajam laukui su pagalba dvifazinės arba trifazinės srovės išsprendė šitą problemą labai paprastu ir, sulyginti, pigiu būdu. Tai buvo jau baigiantis XIX amžiui (1890 metais). Todel pradedant nuo šito laiko alternatoriai, galima sakyti, užkariavo visą elektrotechnikos sritį, palikę toje srityje tik antraeilę vietą nuolatinės srovės generatoriams, ypač kad, atsitikus reikalui turėti nuolatinės srovės, nesunku ji gauti iš kintamosios srovės, kaip jau

apie tai buvo minėta augščiau. Paversti kintamoji srovė nuolatine srove galima su pagalba umformerio, kurį atvaizduoja 319 piešinys. Umformerį sudaro dvifazinės arba trifazinės srovės variklis, kuris matyt iš piešinio pryšakio. Į šitą variklį aprašytu jau būdu leidžiama dvifazinė arba trifazinė srovė, kuri sudaro sukamąjį magnetinį lauką. Tame lauke sukasi variklio rotorius. Su ašimi to rotoriaus sujungta armatūra, arba inkaras, dinamomašinos nuolatinės srovės, kuri čia matyt iš užpakalio piešinio. Tai yra paprasčiausias ir pigiausias būdas gauti nuolatinei srovei iš kintamosios srovės. Aprašytas 16 § metodas padaryti iš kintamosios srovės nuolatinei su pagalba aluminio elektrodo ligi šiandien neturi platesnio pritaikymo.



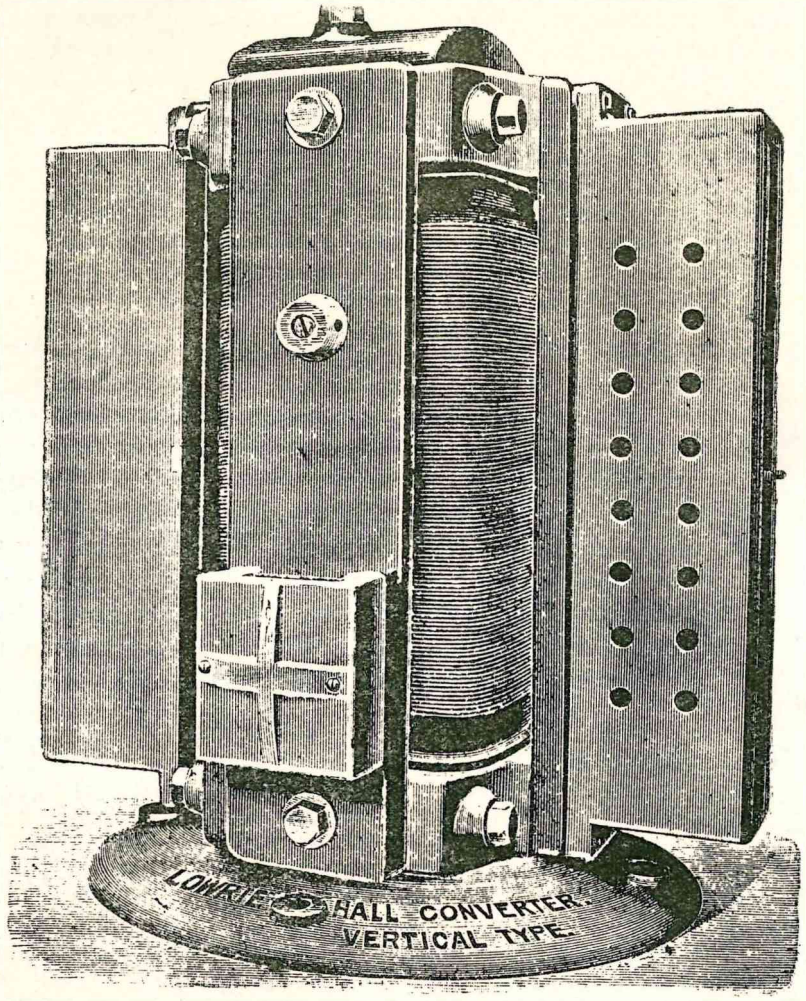
319 pieš.

Didelis patogumas kintamosios srovės yra dar tas, kad iš tos pačios stoties galima penėti visa eilė tinklų nepriklausomai vienas nuo kito, aprūpinus kiekvieną tinklą atskiru transformatorium. Transformatoriaus teorija išdėstyta 20 § ir ten parodyta, kad aplamai santykis įtempimų antrinėje ir pirminėje transformatoriaus špulėje yra lygus santykiui vingių skaičių antrinėje ir pirminėje špulėje. Galima su pagalba transformatoriaus stiprią srovę, bet mažo įtempimo, paversti silpna srove didelio įtempimo, arba atbulai. Gaminant elektros energiją su vandens jėgos pagalba ir norint tą energiją perduoti dideliam atokumui tenka transformuoti kintamoji srovė jau ir taip didelio įtempimo (kelių tūkstančių voltų) srove dar didesnio įtempimo 20000 voltų ir daugiau. Antra vertus, penint, sakysime, iš tos pačios stoties kintamąja srove atskirus apšvietimo tinklus, tenka srovė didelio įtempimo, kurią gamina stotis, transformuoti įtempimu keleto šimtų voltų, dažniausiai 220 voltų. Taigi, kintamosios srovės platus pritaikymas gyvenimo reikalams galimas tik del to, kad tokia srovė galima transformuoti su pagalba transformatoriaus. Tokį transformatorių atvaizduoja 320 ir 321 piešiniai. Tai yra Lowrie-Hall'o transformatorius. Kaip rodo 320 piešinys, geležies branduolis arba geležies šerdis šito transformatoriaus sudėta iš dviejų dalių, arba pusių. Kiekviena dalis sudėta iš visos eilės minkštos geležies plokščių, perskirtų plono popieriaus sluogsniais. Tokia sluogsninė struktūra, arba lamelinė struktūra, suteikiama transformatoriaus branduoliui eliminuojant Foucault'o sroves. Kiekviena dalis apsupta, kaip rodo 320 piešinys, pirmine ir antrine špulėmis, viena špulė viršuj antros. Galai branduolio išsikiša iš tų



320 pieš.

špulių. Galai abiejų dalių branduolių sujungiami atatinkamai užlenkiant apačioj ir viršuj geležies plokštis. Tokiu būdu iš branduolio arba iš šerdies sudaroma uždarytas magnetinis ratas. Abidvi pirminės špulės sujungtos iš eilės vienais jų galais, o antri laisvi galai prijungti prie dviejų bornų. Taip pat ir abidvi antrinės špulės sujungtos iš eilės vienais galais, o antri jų galai prijungti prie kitų dviejų bornų. Prie vieno porio bornų prijungiami laidininkai iš stoties, o prie kito porio bornų prijungiamas penimas tinklas. Leisdami srovę didelio įtempimo per špulę su didesniu vingių skai-



321 piež.

čiumi ir didesnės varžos, antroje špulėje su mažesniu vingių skaičiumi ir mažesnės varžos mes gausime srovę atatinkamai žemesnio įtempimo, bet stipresnę. Toki transformacija daroma, kada reikia penėti apšvietimo tinklas arba kuris kitas darbo tinklas. O kada reikia perduoti elektros energija dideliam atokumui, stipresnė srovė žemesnio įtempimo leidžiama per pirminę špulę mažos varžos ir, sulyginti, nedidelio skaičiaus vingių, o iš antrinės špulės didelio skaičiaus vingių ir didelės varžos gaunama silpnesnė srovė, bet didelio įtempimo. 321 piešinys rodo tokio transformatoriaus formą, pastatyto gatvėje arba lauke. Transformatorius čia laikomas geležinėje spintoje. Spintos durys aprūpintos skylėmis del ventilacijos, nes veikiant transformatoriui vis delto susidaro šilima ir jo temperatūra vis delto kįla augštyn (dalinai špulėse elektros energija virsta

Juolio šilima, be to, visiškai pašalinti verpetų srovės geležies branduolyje irgi negalima, bet daug šilimos susidaro geležies branduolyje del histerezio, aprašyto 18 §). Abidvi špulės turi būti gerai izoliuotos viena nuo antros, taip pat turi būti gera izolacija tarp atskirų vingių tos pačios špulės.

Kada transformatorius veikia, jis duoda tam tikrą toną (ūžia arba net ir tiesiog skamba). Kadangi transformatoriuje nėra jokio mechaniško judėjimo, tai aišku, kad tas ūžimas pareina nuo geležies branduolio dalelių smarkios vibracijos, kurias sudaro kintamoji srovė magnetindama geležį tai viena, tai antra prasme (žiūr. 18 §). Taigi čia histerezis neišvengiamas ir reikia skaitytis su tam tikru energijos nuostoliu del šito histerezio. Taip pat kintamosios srovės generatorius veikdamas duoda gan dažnai augštą toną, dažnai tiesiog kaukia, taip kad stovint generatorių salėje galima net laikinai apkursti. Čia jau toną sudaro pats mechaniškas rotoriaus judėjimas. Bet rotorius daro ne daugiau kaip 500 apsisukimų per minutę ir todel sulyginti augštų girdimų tonų negalima vien tik tuo mechanišku judėjimu išaiškinti ir čia kintamoji srovė, magnetindama ir demagnetindama armatūros ir elektromagnetų branduolius, sudaro tų branduolių dalelėms smarkių vibracijų, kurių išdava yra girdimi augštesni tonai.

---

23 §. Reikšmė mediumo (tarpinės medžiagos) elektromagnetinei indukcijai. Faraday'aus spėjimai apie santykius tarp elektromagnetinių ir šviesos fenomenų. James Clerk Maxwell'io matematinė elektromagnetinio lauko teorija. Srovė dielektrike kaipo elektriškos perstumos, arba elektriško įtempimo, arba dielektrinės polarizacijos atmaina. Maxwell'io eterio modelis. Santykis elektrostatinių ir elektromagnetinių elektros vienetų ir šviesos greitumas. Weber'io ir Rowland'o darbai. Taikymas hidrodinaminių lygčių elektromagnetiniam laukui. Stokeso teorema. Srovės divergencija. Potenciało-vektoriaus curl'is. Pirmoji ir antroji aplinkinės teoremos. Elektromagnetinio lauko pagrindinės lygtys. Elektromagnetinio sąjūdžio sklidimas bangomis.

21 ir 22 §§ išdėstyti Faraday'aus elektromagnetinės indukcijos dėsniai ir tų dėsnių įvairūs ir reikšmingi pritaikymai visiškai neliečiant paties mechanizmo, per kurį veikia elektrostatinė ir magnetinė indukcijos. Laidininko apylinkoje, per kurį eina elektros srovė, susidaro magnetinis laukas. Vadinasi, bet kuriam taške tos apylinkos mes turime tam tikro didumo magnetinę jėgą. Matematikas gali priimti „actio in distans", (veikimą per tuštumą, per atokumą) ir prisilaikydamas empirinių dėsnių, kaip Coulombo dėsnis, Savarto ir Ampero dėsniai, gali išreikšti matematinėmis lygtimis visus elektrostatinės ir magnetinės indukcijos apsireiškimus. Faraday'ui, kuris, kaip mes jau žinome, buvo mažo matematiško išsilavinimo žmogus ir kuris iš prigimties buvo fizikas, veikimas per atokumą buvo visiškai nesuprantamas dalykas, ir todel jis tokio veikimo nepripažino. Prityrimas jam sakė, kad gamtoje veikimas vieno kūno antram kūnui vyksta visuomet tarpininkaujant visai eilei kitų kūnų arba dalelių. Tas pats prityrimas sakė Faraday'ui, kad del inercijos fizinių kūnų toksai veikimas vieno kūno negali būti suteiktas kitam kūnui akimirkoje ir kad visuomet yra reikalingas tam tikras laikas, dažnai be galo trumpas, kad efektas kūno veikimo pasirodytų tam tikram atokume nuo šito kūno. Jeigu einant srovei per laidininką bet kuriam taške jo apylinkos reiškiasi magnetinė jėga, tai, Faraday'aus nuomone, ta jėga yra išdava tam tikrų įvykių arba tam tikrų atmainų mediume, kuriame randasi laidininkas. Visų pirma, Faraday'aus nuomone, tam tikros atmainos susidaro toje dalyje mediumo, kuri randasi betarpiškame kontakte su laidininku, paskui tokios pat atmainos įvyksta antram sluogsnyje mediumo, kuris randasi betarpiškame kontakte su pirmuoju sluogsniu ir t. t. Tokios atmainos skleidžiasi mediume tam tikru greitumu ir, vadinasi, pasiekia vietą tam tikram atokume

nuo laidininko per tam tikrą laiką. Kadangi elektrostatinės ir magnetinės indukcijos fenomenai reiškiasi ir tuštumoje, tai suprantama, kad Faraday'us ieškojo tokio mediumo, kuriam tarpininkaujant vyksta šitie fenomenai.

Faraday'ui buvo žinoma, kad norint suprasti šviesos fenomenus, o ypač šviesos interferenciją ir difrakciją, reikėjo priimti šviesos bangų teoriją, o priimant šitą bangų teoriją reikėjo pripažinti pasaulinį eterį kaipo šviesos bangų medžiaginį substratą, nes šviesos bangos skleidžiasi tam tikru greitumu, tiesa, labai dideliu, ir neša su savimi energiją. Taigi, fizinių bangų negalima sau įsivaizduoti be medžiagos, kuri charakterizuojasi inercija ir tam tikru elastingumu (žiūr. apie šviesos eterio hipotezę „Šviesos" sk. 14 §, 213 — 217 pusl.). Kadangi, nagrinėdamas elektrostatinės ir magnetinės indukcijos apsireiškimus, Faraday'us matė, kad šitie apsireiškimai skleidžiasi mediume labai dideliu greitumu, tai jis intuityviai jautė, kad šviesos fenomenai ir elektromagnetinės indukcijos fenomenai reiškiasi tam pačiam mediume ir todel jis uoliai ieškojo ryšių tarp šitų dviejų sričių. Jis visų pirma bandė surasti įtaką magnetinio lauko elementų linijų spektrams. Bet tai jam nepasisekė (žiūr. „Šviesos" 15 §, 248—252 pusl.) Bet užtat jis surado kitą labai įdomų dalyką, nors ir žymiai painesnį, būtent sukimą polarizuotos šviesos spindulio polarizacijos plokštumos magnetiniu lauku. Bet norėdamas sukurti tokį eterio modelį, kuris vienodai tiktų išaiškinti kaip šviesos fenomenams, taip ir elektromagnetiniams fenomenams, jis susidūrė su didelėmis sunkenybėmis (apie tas sunkenybes žiūr. „Šviesos" 14 §, 213—217 pusl.) ir todel pasitenkino elektrostatinio ir magnetinio jėgų laukų koncepcija, kuri išdėstyta šito skyriaus 1, 4 ir 7 §§.

Su Faraday'aus darbais ir idėjomis susipažino nepaprasto gabumo jaunas fizikas James Clerk Maxwell'is (gimė 1831 metais, mirė 1879 metais), škotas, kuris tuo pačiu laiku buvo žmogus gilaus matematiško išsilavinimo ir nepaprastų matematiškų gabumų. Maxwell'is, kaip ir Faraday'us, atmetė idėją veikimo per atokumą, ir pasidare karštu šalininku Faraday'aus idėjų ir jo jėgų lauko koncepcijos. Maxwell'iui buvo lemta suteikti Faraday'aus idėjoms tobuliausia matematiška forma ir duoti pagrindinės elektromagnetinio lauko lygtys. Eidamas šitomis lygtimis Maxwell'is sukūrė elektromagnetinę šviesos teoriją ir numatė buvimą elektromagnetinių bangų, ir tie jo numatymai, praėjus daugiau kaip 20 metų, buvo patvirtinti bandymais. Maža to, iš tų jo numatymų išėjo visa eilė nepaprastai įdomių ir reikšmingų išradimų ir pritaikymų.

4 ir 7 §§ mes jau matėme, kad elektrostatinė indukcija pareina nuo mediumo ir sudaro to mediumo ypatingą įtempimą, kurį Faraday'us pavadino dielektrine mediumo polarizacija ir kurią Maxwell'is vadina elektriška perstuma (nuoslanka). Tuose pačiuose paragrafuose pabrėžta, kad Faraday'us tiesioginiais eksperimentais įrodė didelę reikšmę mediumo elektrostatiniams fenomenams, o 7 § duota tam tikra interpretacija dielektrinės polarizacijos, pripažinus, kad dielektrikas sudarytas molekulomis - dubletais, t. y. molekulomis, susidedančiomis iš elektroteigiamos ir elektroneigiamos dalių, surištų Faraday'aus jėgų linijomis arba jėgų vamzdeliais. Tokiomis sąlygomis dielektrinė polarizacija yra ne kas kita, kaip pradžia molekulų disociacijos. Maxwell'io nuomone dielektrinė polarizacija arba elektriškas įtempimas arba elektriška perstuma reiškiasi išilgai linijų elektrostatinės indukcijos (apie šitas linijas žiūr. 7 §). Maxwell'is tiesiog sako, kad „elektra" slenka išilgai elektrostatinės indukcijos linijų, veikiant dviejose dielektriko vietose potencialų skirtumui arba elektrovaromajai jėgai, ir kad tokia elektros perstuma dielektrike yra surišta su elektriškų elastingų jėgų pasipriešinimu, taip kad nustojus veikus elektrovaromajai jėgai „elektra" dielektrike grįžta į savo pirmykštę būklę įtakoje tų elektriškų elastingų jėgų (nereikia užmiršti, kad elektriškas elastingumas nėra tas pats dalykas, kaip mechaniškas elastingumas, bet tarp tų dviejų dalykų yra analogija).

Jeigu mes turėsime taške O elektros įlydį Q, tai elektriškas įtempimas arba elektriška perstuma ant sferinio paviršiaus, aprašyto stipinu r apie tašką O, yra lygus $D = \frac{Q}{4\pi r^2}$, o elektriška jėga bet kuriam taške ant to sferinio paviršiaus $E = \frac{Q}{Kr^2}$ (žiūr. 4 §). Čia K reiškia mediumo dielektrinę konstantą. Imdami analogiją iš mechanikos,

mes pavadinsime mediumo elastingumo moduliu santykį tarp tempiančios jėgos ir įtempimo (žiūr. „Bangų Mokslo“ 6 §, 53, 54 puslap.). Elektriškai įtemptam dielektrikui tempianti jėga, arba tempimas, yra lygus E, o įtempimas yra lygus D. Taigi elektriško elastingumo modulis (analogija su Youngo moduliu, žiūr. „Skysčių ir Dujų“ 2 §, 6 pusl.) yra lygus $\frac{E}{D} = \frac{Q}{Kr^2} \cdot \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{4\pi}{K}$, kaip jau išvesta šito skyriaus 7 §.

Veikiant nuolatiniam potencialų skirtumui dviejose dielektriko vietose arba nuolatiniam potencialo kritimui, arba nuolatinei elektriškai jėgai, kuri jėga yra lygi potencialo kritimui, slinkimas Maxwell'io elektros dielektrike tęsiasi tik labai trumpą laiką, kol tas slinkimas bus sustabdytas elastingų jėgų pasipriešinimu. Vadinasi, tokiomis sąlygomis dielektrike pasireiškia tik akimirkos srovė. Šitą srovę Maxwell'is vadina perstumos srove ir išreiškia ją kaipo $\frac{dD}{dt}$, tai yra kaipo perstumos atmainą per 1 sekundą. Aplamai, veikiant nuolatiniam potencialų skirtumui dviejose dielektriko vietose, dielektrike susidaro įtempimas, bet nėra srovės. Kitaip sakant, dielektrikas nepraleidžia nuolatinės srovės, bet dielektrikas yra pereinamas kintamajai srovei.

Toki kintamoji srovė sudaro labai greitas atmainas elektriškos perstumos dielektrike bet kuriam taške ir kaipo išdava tame dielektrike susidaro kintamoji magnetinė indukcija, kuri skleidžiasi iš to taško, kuriame įvyksta elektriškos perstumos atmainos. Tokiomis sąlygomis dieleketrike susidaro elektromagnetinės bangos, kurių greitumas pareina nuo mediumo elektriško elastingumo $\frac{4\pi}{K}$ ir nuo mediumo elektriško tankumo, kuris yra lygus $4\pi\mu$. Čia μ reiškia mediumo megnetinį pralaidumą (jeigu mes turime polio vienetą tuštumoje arba ore, tai iš to polio išeina 4π jėgų linijų, o kada tas polis randasi mediume magnetinio pralaidumo μ, tai iš to paties polio išeina $4\pi\mu$ jėgų linijų. Vadinasi, dydis $4\pi\mu$ yra matas mediumo magnetinio tankumo). Taigi, einant bendra formula bangų greitumui elastingame mediume, elektromagnetinių bangų greitumas bus:

$$v = \sqrt{\frac{4\pi}{K} \cdot 4\pi\mu} = \sqrt{\frac{1}{K\mu}}.$$

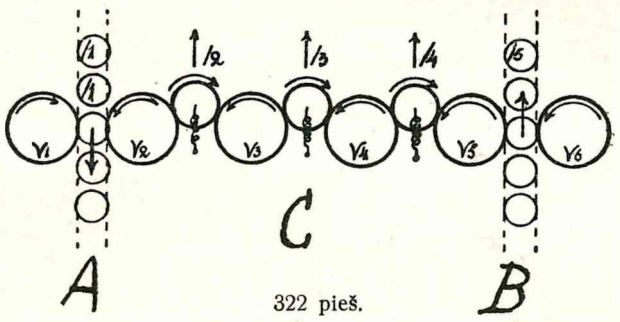
Kada elektriška perstuma turi vietos išilgai plokštumos, tai kalbama apie srovės sluogsnį, o kada ta perstuma vyksta išilgai linijos, tai kalbama apie linijinę srovę.

7 § mes matėme, kad linijos dielektrinės polarizacijos arba elektriškos perstumos yra elektrostatinės indukcijos linijos. Taigi, kada pasireiškia elektriškos perstumos atmaina, tai tos elektrostatinės indukcijos linijos būna srovės linijomis.

Šita Maxwell'io perstumos srovė dielektrike skiriasi nuo vadinamos laidumo srovės laidininke. Elektra slenka laidininke su ypatingu trynimu, kurį mes vadiname laidininko elektros varža. Bet šiaip jau, veikiant nuolatinei elektrovaromajai jėgai, elektra slenka laidininke tolydžiai ir nuosekliai. Tuo tarpu, pradėjus veikti nuolatinei elektrovaromajai jėgai dielektrike elektra slenka tik tol, kol jos perstuma bus balansuota elektriško elastingumo jėgų pasipriešinimu. Nustojus veikus elektrovaromajai jėgai, įtakoje tų elastingumo jėgų elektra dielektrike grįžta į savo pirmykštę būklę. Bet ar mes turime laidumo srovę laidininke, ar perstumos srovę dielektrike, ir vienu ir antruoju atveju srovės apylinkoje susidaro magnetinis jėgų laukas, kuris skleidžiasi toje apylinkoje iš vietos į vietą tam tikru greitumu ir yra priežastimi perstumos srovės gretimose dielektriko dalyse ir indukcijos srovės laidininkuose, kurie randasi dielektrike. Taigi perstumos srovė, susidariusi bet kurioje dielektriko vietoje, paliečia visų pirmą tas dielektriko dalis, kurios randasi betarpiškame kontakte su ta vieta. Aplamai, tik tokios dalys dielektriko veikia viena antrą, kurios randasi betarpiškame kontakte, ir elektrinės arba magnetinės jėgos atmainos skleidžiasi dielektrike nuosekliai nuo vietos į vietą ir todel indukcijos efektas pasireiškia ne akimirkoje, bet per tam tikrą laiką tam tikram atokume nuo tos dielektriko vietos, kurioje vyksta elektriškos jėgos arba magnetinės jėgos atmaina.

Kiekvienas fiziškas fenomenas darosi aiškesnis, jeigu pasiseka sudaryti dinaminis to fenomeno vaizdas. Išaiškinti Faraday'aus elektromegnetinei indukcijai Maxwell'is sukūrė ypatingą mechanišką modelį dielektriko (1861 — 1862 m., Philosophical Magazine, Molecular Vortices, lietuviškai — Molekuliniai verpetai). Kadangi tasai Maxwell'io mechaniškas elektromagnetinės indukcijos fenomenų aiškinimas turėjo savo laiku didelės reikšmės ir padėjo Maxwelli'ui visapusiškai išspręsti elektromagnetinio lauko problemą, tai duosime čia sutrumpintą aprašymą šito Maxwell'io modelio prisilaikydami knygos „Life of James Clerk Maxwell" by Lewis Campbell and William Garnet, 514—559 pusl. (Džemso Klerko Maksvelio gyvenimas).

Remdamasis sukimais, kurie išeina iš tarpusavio veikimo srovių ir magnetų, ir Faraday'aus konstatuotų sukimų polarizacijos plokštumos polarizuoto šviesos spindulio magnetinio lauko įtakoje, Maxwell'is tvirtina, kad magnetinis laukas yra sudarytas molekuliniais verpetais. Jis įsivaizduoja, kad dielektrikas yra sudėtas iš tam tikrų magnetinių molekulų, arba narvelių, rutuliukų pavidalu, žymiai mažesnių išmatavimų, kaip medžiagos molekulos, ir iš dar mažesnių dalelių, irgi rutuliukų pavidalu, kurias Maxwell'is vadina elektriškomis dalelėmis. Tos elektriškos dalelės užima tarpus tarp magnetinių molekulų, arba magnetinių narvelių, ir vaidina tokį pat vaidmenį kaip rutuliukai tarp ašies ir pakaklių (rutuliniai pakakliai). Vadinasi, transmisija sukimosi nuo vienos magnetines molekulos į kitą vyksta tarpininkaujant šitoms elektriškoms dalelėms. Jos visuomet yra kontakte su magnetinėmis molekulomis, bet nešliaužia tų magnetinių rutuliukų paviršiumi, o gali tik suktis sukantis magnetiniams rutuliukams. Dielektrike tos elektriškos dalelės yra surištos elastingais ryšiais su dielektriko molekulomis ir todel, ėmus suktis magnetiniams rutuliukams, dielektrike įvyksta tų elektriškų dalelių perstuma, bet nėra jų tolydinio ir nuoseklaus slinkimo. Tuo tarpu laidininkuose tos elektriškos dalelės slenka tolydžiai ir nuosekliai.



322 pieš.

Magnetinių rutuliukų ašys sudaro tai, ką Faraday'us vadina magnetinėmis jėgų linijomis. Magnetinis rutulys yra elastingas ir sukdamasis susiploja taip, jog virsta apvaliu sferoidu. Vadinasi, tas rutulys susitraukia išilgai ašies arba išilgai jėgų linijos ir išsiplečia statmenai tai jėgų linijai. Tokiu būdu išilgai jėgų linijų susidaro tempimas ir statmenai spaudimas. Tokiu būdu Maxwell'is aiškina Faraday'aus magnetinio lauko ypatumus.

322 piešinys rodo schemą Maxwell'io modelio. V_1, V_2, V_3... reiškia čia magnetinius rutuliukus arba magnetinius narvelius, o J_1, J_2, J_3... reiškia elektros rutuliukus arba daleles. Du bruožai, A ir B, pažymėti punktyrų linijomis, reiškia du laidininkus, įterptus į dielektriką. Elektros rutuliukai J_2, J_3, J_4 priklauso dielektrikui ir todel jie aprūpinti elastingais spyruokliais, kad būtų pažymėtos elastingos jėgos, kurių įtakoje randasi tos elektriškos dalelės. Laidininkuose tos elektriškos dalelės neturi spyruoklių. Vadinasi, laidininkuose jos slenka be jokio elastingo pasipriešinimo.

Pasinaudosime dabar šituo Maxwell'io modeliu, kad išaiškintume saviindukcijos ir tarpusavės indukcijos pasireiškimus.

Atkreipsime visų pirma dėmesį į vidurį dielektriko C, kur nėra laidininkų. Tegu magnetinis rutuliukas V_3 sukasi prieš laikrodžio rodyklę, kaip rodo piešinys, ir tegu iš pradžios magnetiniam rutuliukui V_4 bus neleidžiama suktis. Del kontakto tarp rutuliuko V_3 ir elektriškos dalelės J_3, ėmus suktis rutuliukui V_3, ims suktis, tik priešinga kryptimi, ir elektriškas rutuliukas J_3, ir, kadangi tas elektriškas rutuliukas negali šliaužti paviršium rutuliuko V_3, tai jis tuo pačiu laiku ims slinkti augštyn, kaip rodo iešmutė. Atleisime dabar magnetinį rutuliuką V_4. Elektriškas rutuliukas J_3, sukdamasis ims sukti

ir šitą magnetinį rutuliuką V_4 ir ta pačia kryptimi, kaip sukasi magnetinis rutuliukas V_3. Iš pradžios greitumas rutuliuko V_4 bus mažesnis kaip rutuliuko V_3 ir todel elektriškas rutuliukas J_3 slinks toliau augštyn. Bet per tam tikrą laiką magnetinių rutuliukų V_3 ir V_4 greitumai išsilygins ir tada nebebus jėgos, kuri verčia elektrišką rutuliuką J_3 slinkti augštyn. Tasai rutuliukas bus dabar tik įtakoje akcijos iš pusės magnetinio rutuliuko V_3 ir lygios tai akcijai, bet prieš ją atkreiptos, reakcijos magnetinio rutuliuko V_4. Vadinasi, elektriška dalelė J_3, išsilyginus greitumams magnetinių rutuliukų V_3 ir V_4 (arba magnetinių verpetų), bus tiktai įtakoje sukamojo jėgų porio ir suksis ant vietos nebeslinkdama. Taigi, kad išaiškintume elektrišką perstumą dielektrike mes žiūrėjome greitumų magnetinių verpetų V_3 ir V_4 skirtumo, kuris susidarė todel, kad ėmus suktis V_3, magnetinis rutuliukas V_4 buvo palaikomas kurį laiką nejudomai ir tik paskui atleistas. Bet aišku, kad toksai pat efektas bus atsiektas, kada šita sistema susideda iš kietai sujungtų dalelių ir kada magnetiniai rutuliukai arba magnetiniai verpetai charakterizuojasi inercija. Tokiomis sąlygomis ėmus suktis magnetiniam verpetui V_3 magnetinis verpetas V_4 įgys tokį pat greitumą ne akimirkoje, bet per tam tikrą laiką, ir kol greitumas V_4 pasidarys lygus greitumui V_3, elektriška dalelė J_3, sukdamasi priešinga kryptimi kaip verpetas V_3, persistums (pasislinks) kiek augštyn. Nustojus suktis magnetiniam ratui V_3 magnetinis ratas V_4 sustos ne akimirkoje, bet per tam tikrą laiką, ir elektriška dalelė J_3, sukdamasi persistums dabar žemyn, t. y. grįš į savo pirmykščią būklę. Tad elektriška perstuma arba elektriškas įtempimas veikia dielektrike tik tol, kol veikia elektrovaromoji jėga ir išnyksta nustojus veikus elektrovaromajai jėgai. Įsivaizduokim dabar sau visą eilę tokių magnetinių narvelių arba ratų su elektriškais rutuliukais tarp jų ir kontakte su jais ir sakykime, kad magnetiniai ratai pasižymi inercija. Tad bus aišku, kad ėmę sukti pirmutinį iš tokių magnetinių ratų, mes pasieksime nuoseklią perstumą elektriškų dalelių ir nuoseklų sukimąsi magnetinių ratų. Maxwell'is palygina savo sunkius magnetinius ratus su molekuliniais verpetais arba jėgų linijomis, manydamas, kad jų masingumas arba tankumas yra apibrėžtas mediumo magnetiniu pralaidumu. Elastingai perstumiami elektriški rutuliukai (rutuliniai pakakliai), anot Maxwell'io, yra ne kas kita, kaip elektra dielektrike. Toliau, Maxwell'io nuomone, visuomet, kada ima suktis linija magnetinių ratų, kitaip sakant, visuomet, kada susidaro dielektrike jėgų linija, šitas efektas skleidžiasi dielektrike išorėj, sudarydamas nuoseklias perstumas elektriškų dalelių. Tokiu būdu dielektrike susidaro perstumos banga ir tuo pačiu laiku nuosekliai pasireiškia sukimasis magnetinių ratų, kitaip sakant, tuo pačiu laiku skleidžiasi magnetinės jėgos banga. Šitos bangos greitumas, kaip jau mes matėme, yra $V = \sqrt{\frac{1}{K\mu}}$. Taigi, šitas mechaniškas Maxwell'io modelis rodo mums, kaip sukimąsi eilės arba linijos verpetų sudaro perstumą elektriškų dalelių išilgai linijų, kurios yra ratai, aprašyti aplink pirmykštį verpetą, kaipo ašį, ir kaip skleidžiasi išorėj magnetiniai verpetai arba magnetinė jėga su tam tikru greitumu nuo vienos linijos molekulinių verpetų į kitą liniją.

Einant šita hipoteze elektros srovė yra tolydinis ir nuolatinis slinkimas elektriškų dalelių laidininke. Tos elektriškos dalelės gali slinkti laidininke tik viena kryptimi, kada laidininkas sudaro uždarytą kilpą arba ratą, nes tos dalelės nesuspaudžiamos. Įsivaizduokime dabar ploną laidininką, sulenktą didelio rato pavidalu, ir tegu elektrovaromoji jėga sudaro slinkimą elektriškų dalelių aplink šitą ratą. Slinkdamos tos dalelės ima sukti artimiausius magnetinius ratus, ir tokiu būdu susidaro koncentriški žiedai magnetinių verpetų statmenai srovės linijai. Tai visai atatinka tą žinomą mums faktą, kad linijinė srovė sudaro magnetinį lauką, kuris yra sudėtas iš jėgų linijų koncentriškų ratų pavidalu, statmenai srovės linijai.

Tegu elektrovaromoji jėga sudaro laidininke A tolydinį nuolatinį elektriškų dalelių slinkimą žemyn (žiūr. 322 piež.). Tos dalelės, slinkdamos žemyn, ims sukti artimiausius magnetinius ratus V_1 ir V_2 priešingomis kryptimis. Kadangi tie ratai yra masingi, tai elektriškos dalelės laidininke ne išsyk įsigys nuolatinį greitumą, o pasieks

tokį greitumą tik per tam tikrą laiką, nes reikalingas laikas išjudinti masingiems ratams. Tai irgi atatinka žinomą mums faktą, kad, ėmus veikti elektrovaromajai jėgai, srovė laidininke pasiekia maksimumą ne išsyk. Vadinasi, Mexwell'io mechanizmas išaiškina saviindukcijos fenomeną. Taip pat nustojus veikti elektrovaromajai jėgai, magnetiniai ratai ne tuojau sustoja, o sukasi dar kurį laiką del inercijos ir sukdamiesi varo žemyn elektriškas daleles. Taigi, nustojus veikus elektrovaromajai jėgai, elektros srovė laidininke tęsiasi dar kurį laiką ta pačia kryptimi. Tai sudaro žinomą mums srovę (ekstra - srovę) pertraukiant srovės tinklą.

Pagaliau, įsivaizduokime tam pačiame dielektrike dar antrą laidininką B lygiagrečiai pirmajam laidininkui A (žiūr 322 pieš.). Abu laidininkai reikia įsivaizduoti pavidalu didelių ratų, kurių tik dalys parodyta piešiny. Tegu įtakoje elektrovaromosios jėgos elektriškos dalelės J_1 ima slinkti laidininke A žemyn. Tos dalelės ims sukti magnetinius ratus V_1 ir V_2, kuriuos jos liečia, priešingomis kryptimis. Ratas V_2 ima sukti elektrišką dalelę J_2, kaip rodo iešmutė. Kadangi del inercijos ratas V_3 pasiekia tokį pat greitumą, kaip ratas V_2 tik per tam tikrą laiką, tai, kaip jau anksčiau išaiškinta, esant greitumų skirtumams, elektriška dalelė J_2 dielektrike persistumia augštyn, vadinasi, priešinga kryptimi kaip slenka elektriškos dalelės laidininke A (į tai reikia atkreipti ypatingas dėmesys.) Tasai persistūmimas sustoja, kada magnetiniai ratai V_2 ir V_3 ima suktis tuo pačiu greitumu. Tada elektriška dalelė J_2 tik sukasi, pasilikdama vietoj. Nesunku suvokti, kad dielektrike magnetiniai ratai V_2 ir V_3 sukasi ta pačia kryptimi. Tokiu pat būdu įtakoje magnetinio rato V_3 persistumia augštyn elektriška dalelė J_3 ir ima suktis ratas V_4 ir t. t. Vadinasi, ėmus slinkti elektriškoms dalelėms laidininke A, per kurį laiką sukimasis magnetinių ratų ir perstuma elektriškų dalelių pasiekia laidininką B. Ratas V_5 ima suktis, ir del inercijos jo sukimasis ne išsyk susiteikia ratui V_6. Todel elektriškos dalelės J_5 laidininke B persistumia augštyn. Tad laidininke B susidaro elektros srovė priešinga kryptimi kaip laidininke A. Bet pasiekus ratui V_6 pilną greitumą (tokį pat greitumą, kurį turi ratai V_5 V_4, ir t. t.), elektros dalelės J_5 pasilieka tik įtakoje sukamojo jėgų porio, ir tų dalelių perstuma sustoja. Jos sukasi pasilikdamos tose pačiose vietose. Jų slinkimo energija virsta čia šilima, ir jos sustoja. Taigi šitas mechanizmas rodo mums, kaip susidaro indukcijos srovė laidininke B, ir kad ta indukcijos srovė tęsiasi tik trumpą laiką, kol išsilygina greitumas magnetinių verpetų arba magnetinių ratų iš abiejų pusių laidininko. Tai bus indukcijos srovė laidininke B, uždarant srovę laidininke A. Pašalinsime dabar elektrovaromąją jėgą iš laidininko A (kitaip sakant, pertrauksime srovę laidininke A). Elektriškos dalelės laidininke A kurį laiką bus dar varomos žemyn sutaupyta energija magnetinių verpetų V_1 ir V_2. Bet šitie verpetai pamaži nustoja savo energijos, atiduodami ją tinklui A, kur ta energija išsklaidoma šilima. Šitas atidavimas energijos ir panaikinimas greitumo verpetų skleidžiasi nuo laidininko A išorėj ir, pagaliau, pasiekia ratą B. Visų pirma sustoja čia verpetas V_5, bet del inercijos verpetas V_6 tuo pačiu laiku dar sukasi. Energija šito verpeto V_6 ir tolimesnių verpetų į dešinę pusę nuo laidininko B eikvojama dabar tam, kad būtų varomos elektriškos dalelės J_5 laidininke B žemyn. Vadinasi, petraukus srovę tinkle A, tinkle B susidaro indukcijos srovė tos pačios krypties kaip tinkle A. Vadinasi, dabar dalis lauko energijos eikvojama tam, kad būtų sudaryta laidininkuose B ir A srovė tos pačios krypties. Šita srovė tęsiasi tik trumpą laiką, kol sutaupyta energija verpeto V_6 ir tolimesnių verpetų iš dešinės pusės bus išeikvota ir išsklaidyta šilimos pavidalu laidininke B. Taigi, pasirodo, kad laidininke A, pertraukus srovę, bus mažesnė indukcijos srovė, jeigu apylinkoje yra kitas laidininkas B, ir stipresnė srovė tada, kada to kito laidininko visiškai nėra. Kitaip sakant, buvimas antrinio uždaryto tinklo B mažina saviindukciją pirminio tinklo. Tai visai atatinka žinomus mums faktus. Taigi Maxwell'io mechaniškas modelis visai išaiškina saviindukcijos ir elektromagnetinės indukcijos reiškinius.

Pažiūrėsime dabar, kaip dinaminiai elementai aprašyto Maxwell'io mechanizmo santykiuoja su žinomais elektromagnetiniais dydžiais. Magnetinės jėgų linijos Maxwell'io mechanizme yra ašys magnetinių verpetų. Juo didesnis tų verpetų greitumas, juo stipresnis magnetinis laukas. Todel magnetinio lauko stiprumas, arba intensingumas,

H yra lygus magnetinių ratų arba magnetinių verpetų kampiniam greitumui, o magnetinė indukcija B yra lygi kampiniam momentui magnetinių verpetų (nes $B = \mu H$). Taigi, čia magnetinio verpeto masingumas prilyginamas magnetiniam pralaidumui μ. Ypatingai dideliu magnetiniu pralaidumu pasižymi geležis. Maxwell'is mano, kad magnetiniai verpetai pagauna ir pačias geležies molekulas taip, jog geležies molekulos dalyvauja tame verpetiniame judėjime, smarkiai padidindamos verpetų masę. Todel energija magnetinio lauko yra žymiai didesnė, kada tame lauke randasi geležis, kaip tada, kada tame lauke nėra geležies, ir iš to pasidaro žymiai sustiprintas indukcijos veikimas esant špulėje geležies branduoliui.

Magnetinio verpeto energija yra proporcinga sandaugai iš to verpeto greitumo ir jo momento. Vadinasi, magnetinio lauko turio vieneto energija galima išreikšti sandauga iš magnetinės indukcijos B (magnetinio verpeto momentas) ir lauko stiprumo H (lauko stiprumas H proporcingas verpeto greitumui), ta vienok sąlyga, kad magnetinė indukcija ir lauko stiprumas yra tos pačios krypties, kaip tai būna izotropiniuose mediumuose.

Einant šituo Maxwell'io modeliu „jėgų linijų skaičius", kuris eina per srovės ratą arba tinklą, yra visas momentas magnetinių verpetų, surištų su tuo srovės ratu. Pašalinant priežastį, sudarančią magnetinį lauką, sakysim, nutolinant magnetą arba pertraukiant srovę, magnetiniai verpetai nuosekliai atiduoda savo energiją tam pačiam tinklui (saviindukcijos ekstrasrovė) arba antriniam tinklui. Tame tinkle energija pasireiškia judėjimu elektriškų dalelių arba kaipo indukcijos srovė. Kada viena sistema judančių kūnų per tarpusavę akciją ir reakciją išjudina antrą kūnų sistemą, tai nesant energijos nuostoliams del trynimo arba netobulaus elastingumo, įsigytas vienos sistemos momentas turi būti lygus momentui, kurio nustoja kita sistema. Taigi, kada verpetai nustoja momento, kitaip sakant, kada mažėja skaičius indukcijos linijų, einančių per tinklą, tai tuo pačiu laipsniu auga momentas elektriškų dalelių laidininke, kurios tą momentą absorbuoja. Taigi, indukcijos elektrovaromoji jėga tinkle arba rate yra lygi greitumui, su kuriuo pašalinamos indukcijos linijos iš srovės rato, kitaip sakant, ta elektrovaromoji jėga turi būti lygi jėgų linijų skaičiaus atmainai per 1 sekundą. Vadinasi, Faraday'aus elektromagnetinės indukcijos pagrindinis dėsnis tiesiog išeina iš Maxwell'io teorijos. Taigi, šita teorija duoda mechanišką interpretaciją saviindukcijos, tarpusavės indukcijos ir pagrindinio dėsnio elektromagnetinės indukcijos. Reikia pasakyti, kad Maxwell'is, remdamasis savo modeliu, davė nuoseklų išaiškinimą ir elektrostatiškų fenomenų. Norėdami papildyti magnetinių fenomenų aiškinimą su pagalba Maxwell'io dinaminės teorijos, trumpai paminėsime čia dar magnetinimo fenomenus (žiūr. 18 §), ypač magnetinimą feromagnetinių kūnų. Maxwell'is sako, kad geležies molekulos dalyvauja magnetinių verpetų judėjime ir kad, augant verpetų greitumui, auga ir geležies molekulų sukimosi greitumas, bet neproporcingai verpetų greitumui. Toliau, jis sako, kad geležies molekulos sukasi su tam tikru trynimu, kuris vienok mažėja, augant greitumui, ir, prie pakankamai didelių greitumų, tasai trynimo momentas darosi lygus nuliui. Taigi, galima žiūrėti į geležies molekulas kaipo į ratus, laisvai užmautus ant ašių. Tokiomis sąlygomis peržengus tam tikrą ašies greitumą (čia ašis vaidina magnetinio verpeto vaidmenį) greitumas geležies molekulos nustos didėjęs. Šita išvada is Maxwell'io hipotezės atatinka faktus, nes mes žinome (žiūr. 18 §), kad didinant magnetinamąją jėgą H (lygią verpetų kampiniam greitumui) magnetinis pralaidumas geležies iš pradžios didėja, pasiekia tam tikrą maksimumą ir ima kristi, taip kad vartojant dideles magnetinamas jėgas H (dideli verpetų greitumai) geležies magnetinis pralaidumas darosi lygus vienetui.

Sutraukdami visa tai, kas anksčiau pasakyta apie Maxwell'io mediumo modelį, mes gausime tokį vaizdą. Maxwell'io mediumas yra sudėtas iš dalių, kurios gali elastingai persistumti, kada tos dalys randasi dielektrike, arba kurios gali progresyviai žengti pirmyn, kada jos randasi laidininkuose. Šitas mediumo dalis Maxwell'is vadina elektra. Kitos Maxwell'io mediumo dalys gali tik suktis aplink ašis, kurios sudaro uždarytus ratus, arba kilpas, uždarytas mediume. Tos verpetų ašys atatinka Faraday'aus „jėgų linijas". Taigi Maxwell'io mediumas charakterizuojasi elastingu tamprumu, ir atvirkščias šito

elastingo tamprumo dydis reikia laikyti mediumo specifiniu indukcijos talpumu, nes tasai atvirkščias dydis reiškia mediumo gabumą pasiduoti elektrovaromosios jėgos veikimui. Tas pats mediumas charakterizuojasi tam tikru masingumu, arba tankumu, kurį mes vadiname mediumo magnetiniu pralaidumu arba mediumo magnetine indukcija. Masė verpetų vieneto ilgio yra tas pats dydis visiems verpetams, ar jie bus vakuume, ore, ar diamagnetiniuose kūnuose. Bet geležyje verpetai apsunkinti surištomis su verpetais geležies molekulomis. Todel geležyje verpetų masė didesnė, vadinasi, magnetinis pralaidumas didesnis. Dideliems verpetų kampiniams greitumams, kitaip sakant, didelėms magnetinamoms jėgoms, ryšiai tarp geležies molekulų ir verpetų nustoja veikę, ir tada magnetinis geležies pralaidumas darosi lygus vienetui. Magnetinės traukos ir atsparos jėgos pareina nuo įtempimo išilgai verpetų linijų ir nuo pusiaujinio verpetų narvelių arba rutulių išsiplėtimo. Tose vietose, kur pasireiškia magnetinis polaringumas, tolydybė verpetų kampinio greitumo išnyksta. Kampiniai greitumai verpetų geležyje ir išorėj skirtingi. Elektros srovė įtakoje elektrovaromosios jėgos reiškiasi arba tolydiniame judėjime elektriškų dalelių laidininkuose arba elastingoje tų dalelių perstumoje, kuri gali virsti jų periodiniu judėjimu. Kadangi tarp verpetų ir elektriškų dalelių nėra jokio šliaužimo, tai elektros srovė visuomet sudaro magnetinį lauką, nes tokiomis sąlygomis progresyvus judėjimas elektros dalelių sudaro sukimą verpetų, ir atbulai, verpetų sukimasis sudaro perstumą elektriškų dalelių ir, kaipo tokios perstumos išdavą, mes turime arba elektrišką įtempimą dielektrike arba elektros srovę laidininke.

Aprašytas čia Maxwell'io mechaniškas elektromagnetinio lauko modelis padarė kai kuriems fizikams keistą įspūdį, ir kai kurie fizikai į šitą dalyką rimtai nežiūrėjo. Iš tikrųjų, mes čia turime gerai sugalvotą transmisijos sistemą perdavimui judėjimo, sistemą, taip sakant, paimtą iš mechaninės dirbtuvės, ir todel negalima manyti, kad mediumas, kuriame vyksta elektromagnetiniai fenomenai, iš tikrųjų atrodo taip, kaip Maxwell'io modelis. Reikia vienok pasakyti, kad Maxwell'is, būdamas didelis matematikas, puikiausiai išnaudojo savo modelį, nes jis, remdamasis savo modeliu, priėjo nepaprastai svarbias išvadas, liečiančias tapatybę sviesos fenomenų ir elektromagnetinių fenomenų, ir niekas kitas kitokiu keliu tokių pat išvadų nepriėjo. Todel mes matėme reikalo išdėstyti čia šitą Maxwell'io dinaminę teoriją akivaizdoje nepaprastos jos istoriškos reikšmės fizikai ir jos padarinių elektrotechnikai. Be to, šitas galvojimo metodas, pradedant fenomenų konkretizavimu ir toliau išreiškiant juos abstraktine matematiška forma, yra charakteringa savybė visiems didiesiems anglų fizikams, o fizikos srityje gal nė viena tauta nėra atlikusi tokių svarbių žygių, kaip anglai.

Grįšime dabar prie klausimo tapatybės šviesos ir elektromagnetinių fenomenų. Šitą klausimą pirmutinis aiškiai pastatė Faraday'us ir jau toliau jį nagrinėjo Maxwell'is, pasipažinęs su Faraday'aus darbais ir jo idėjomis. Nereikia manyti, kad koncepcija bendro mediumo, bendro substrato šviesai ir elektromagnetiniams fenomenams, atėjo Faraday'ui į galvą įkvėpimo keliu. Faraday'ui buvo žinomi faktai, kurie aiškiai rodė, kad tarp šviesos ir elektromagnetinių reiškinių yra esminių santykių. Jis ir pats išrado kai kuriuos tokios rūšies faktus. Tas pats buvo žinoma ir Maxwell'iui. Šitų faktų pažymėsime čia du. 12 § parodyta, kad santykis elektrostatinio elektros vieneto ir elektromagnetinio elektros vieneto turi formą greitumo (yra lygus greitumo išmatavimams). Šitą santykį galime nustatyti eksperimentais. Užtaisydami kondensatorių talpumo C ligi potencialo V, sakysime, prijungę prie kondensatoriaus pamušalų galvaninės batarejos polius, mes turėsime kondensatoriuje elektros kiekį $Q_{st} = CV$. Tasai elektros kiekis bus išreikštas elektrostatiniais vienetais. Šitą kondensatorių mes galime išlydyti per balistinį galvanometrą, ir tada gausime tą patį elektros kiekį, išreikštą elektromagnetiniais vienetais, būtent: $Q_m = ks$ (čia k reiškia galvanometro balistinę konstantą ir s galvanometro atsilenkimą). Taigi, tokiu būdu mes surasime santykį $\frac{Q_m}{Q_{st}} = \frac{ks}{CV}$. Tokį eksperimentą atliko 1856 metais du didieji Vokiečių fizikai, W. Weberis ir F. Kohlrauschas, kurių pirmasai ypač daug yra prisidėjęs prie nustatymo elektrostatinių ir elektromagnetinių elektros vienetų. Tie du fizikai gavo labai įdomų rezultatą. Jie rado, kad santykis

elektromagnetinio ir elektrostatinio elektros vienetų yra labai didelis skaičius ir yra lygus $3{,}10^{10}$ cm., kitaip sakant, yra lygus šviesos greitumui. Šitas faktas buvo gerai žinomas Maxwell'iui. Maxwell'is išsyk manė, kad tai yra ne pripuolamas dalykas, o yra išdava esminės tapatybės šviesos ir elektromagnetinių reiškinių, yra išdava to, kad šitie reiškiniai vyksta tam pačiam mediume. Del šviesos tuomet jau nebuvo jokių abejonių, kad ji sklinda erdvėje bangomis žinomu greitumu (žiūr. Youngo ir Fresnelio darbai, „Šviesos" 12 ir 13 §§). Kaip jau mes matėme, Maxwell'io mediumo dinaminis modelis numato periodinius judėjimus. Elektriškas arba magnetinis sąjūdis bet kuriame to mediumo taške skleidžiasi mediume tam tikru greitumu, kuris yra lygus $\sqrt{\frac{1}{\mu K}}$. Kurie gi santykiai tarp šito greitumo ir santykio tarp elektrostatinio ir elektromagnetinio elektros vienetų? Elektrostatinis elektros vienetas apibrėžtas 4 § einant Coulombo dėsniu $f = \frac{q^2}{Kr^2}$, pripažinus $r = 1$ ir $f = 1$ (čia q reiškia elektros įlydį). Taigi, tokiomis sąlygomis $q = \sqrt{K}$, vadinasi, elektrostatinis elektros vienetas pareina nuo mediumo ir yra tiesiog proporcingas kvadratinei šakniai iš mediumo dielektrinės konstantos.

Elektromagnetinis elektros vienetas pareina nuo apibrėžimo magnetinio polio vieneto, kuris apibrėžimas irgi remiasi Coulombo dėsniu: $f = \frac{m^2}{\mu r^2}$. Paėmę $r = 1$ ir $f = 1$, mes turėsime $m = \sqrt{\mu}$. Vadinsi, polio vienetas irgi pareina nuo mediumo ir yra proporcingas kvadratinei šakniai iš mediumo magnetinio pralaidumo. Įsivaizduokim dabar laidininką rato pavidalu stipino $r = 1$ ir tegu tuo ratu eina srovė i. Ta srovė sudaro magnetinį lauką, kitaip sakant, sudaro magnetinę jėgą. Srovės vienetu laikoma toki srovė, kuri vienetą - polį, padėtą centre rato, veikia vienos dinos jėga, skaitant rato vieneto ilgiui (1 cm.). Tai bus elektromagnetinis srovės vienetas. Toks pat bus ir elektromagnetinis elektros kiekio vienetas, nes srovė yra lygi elektros kiekiui, padalytam į laiką. Magnetinei jėgai, kuria veikia srovė ratu stipino r magnetinį polį m, padėtą rato centre, mes turime formulą: $f = \frac{2\pi i m}{r}$ (žiūr. 12 §), arba imant domėn $m = \sqrt{\mu}$ $f = \frac{2\pi i\sqrt{\mu}}{r}$, iš to: $i = \frac{fr}{2\pi\sqrt{\mu}}$. Taigi, srovė mediume magnetinio pralaidumo μ yra atvirkščiai proporcinga kvadratinei šakniai iš μ. Vadinasi, ir elektromagnetinis srovės vienetas, arba elektromagnetinis elektros vienetas, yra atvirkščiai proporcingas dydžiui $\sqrt{\mu}$. Taigi santykis tarp elektromagnetinio elektros vieneto q_m ir elektrostatinio elektros vieneto q_{st} yra lygus $\frac{q_m}{q_{st}} = \frac{c}{\sqrt{\mu K}}$. Čia c reiškia tam tikrą konstantą (proporcingumo veiksnį). Absoliutinės vertės K ir μ tuštumai mes nežinome, ir laikome tuos dydžius tuštumai vienetu. Orui tie dydžiai irgi mažai skiriasi nuo vieneto. Taigi tuštumai ir orui santykis $\frac{q_m}{q_{st}} = c$, o mediumui dielektrinės konstantos K ir magnetinio pralaidumo μ tas santykis yra lygus $\frac{c}{\sqrt{K\mu}}$. Dydis $\frac{1}{\sqrt{K\mu}}$ reiškia greitumą, kuriuo skleidžiasi elektromagnetinis sąjūdis Maxwell'io mediume. Taigi, ir santykis $\frac{q_m}{q_{st}} = \frac{c}{\sqrt{\mu K}}$ irgi reiškia greitumą. Kaip jau paminėta, tokia pat išvada gaunama sulyginant išmatavimų formulas elektromagnetinio ir elektrostatinio elektros vienetų. Kokia gi fizinė interpretacija galima duoti šitam santykiui? Elektromagnetinis elektros vienetas yra daug sykių dides-

nis, kaip elektrostatinis elektros vienetas. Vadinasi, elektrostatinis vienetas reikia smarkiai padidinti, reikia smarkiai ištempti, kad jis pasidarytų lygus elektromagnetiniam vienetui, kitaip sakant, reikia suteikti elektrostatiniam vienetui judėjimas tam tikru dideliu greitumu, kad jo magnetinis efektas pasidarytų lygus elektromagnetiniam vienetui. Srovė laidininke rato pavidalu sudaro magnetinį lauką, kuris bet kuriam taške apylinkos charakterizuojasi tam tikru stiprumu. Į srovę mes žiūrime kaipo į slinkimą elektros įlydžių. Taigi slenkąs tam tikru greitumu elektriškai užtaisytas fizinis kūnas turi reikšti tuos pačius efektus kaip ir srovė. Vadinasi, elektriškai užtaisytas fizinis kūnas, slinkdamas, turi sudaryti savo apylinkoje magnetinį lauką. Įlydį, kuris slenka kartu su fiziniu kūnu arba su materialine dalele, mes vadiname konvekcijos srove. Taigi nurodyto santykio elektromagnetinio ir elektrostatinio vienetų prasmė yra ta, kad, suteikus tam tikrą labai didelį greitumą, būtent tuštumoje ir ore greitumą $c = 3.10^{10}$ cm. per sekundą elektrostatiniam vienetui, sudarytas jo magnetinis laukas bus tokio pat stiprumo kaip ir laukas, sudarytas elektromagnetinio srovės vieneto. Šita interpretacija svarstomam santykiui davė pats Maxwell'is 1865 metais. Kiek vėliau, 1876 metais, žymus Amerikos fizikas prof. Rowland'as patvirtino šitą interpretaciją savo bandymais, kuriuos jis atliko Berlyne, Helmholtz'o laboratorijoje. Rowland'as pasidirbo sau ebonito skritulį ir apklojo skritulio krantus plonu aukso sluogsniu. Šitas skritulys buvo užmautas ant ašies, kurį galima buvo greitai sukti su pagalba tam tikro mechanizmo. Paauksuotas ebonito skritulys buvo padėtas tarp dviejų paauksuotų stiklo skritulių, kad būtų pašalintas išlydomasis oro veikimas. Skritulio krantams buvo suteiktas tam tikras elektros įlydis ir arti nuo šito skritulio buvo padėta viena adata jautrios astatinės magnetų sistemos (viena adata astatinio galvanometro), apgynus ją metališku ekranu (tik ne geležiniu) nuo elektrostatiško veikimo. Smarkiai sukdamas ebonito diską Rowland'as konstatavo aiškų magnetinį efektą konvekcijos srovės magnetinei adatai ir tokiu būdu patvirtino Maxwell'io išvadas.

Šviesos greitumas yra viena tvirčiausiai nustatytų fizikos konstantų, vartojant įvairius metodus, astronomiškus ir fiziškus, ir dalyvaujant tame darbe daugybei tyrinėtojų (žiūr. „Šviesos" 11 §). Iš daugybės skaičių vidutiniškas dydis šviesos greitumui yra 3.10^{10} cm. Visa eilė tyrinėtojų, be minėtų jau Weber'io ir Kohlrausch'o, ir tame skaičiuje pats Maxwell'is įvairiais laikais nustatė bandymais santykį tarp elektromagnetinių ir elektrostatinių elektros vienetų. Iš visų tų bandymų minėtam santykiui irgi vidutiniškai tenka 3.10^{10}, vadinasi, tas pats, kaip šviesos greitumui.

Bet Maxwell'is atkreipė dėmesį ir į kitą faktą, būtent, į tam tikrą santykį tarp šviesos lūžimo koeficiento n tam tikro mediumo ir jo dielektrinės konstantos K (žiūr. 7 § galą). Pažymėsime šviesos greitumą tuštumoje arba ore raide c ir mediume raide c_m. Tad lūžimo koeficientas bangai tam tikro ilgio šitam mediumui bus $n = \frac{c}{c_m}$ (žiūr. „Šviesos" 11 §, 173 pusl.). Žinant lūžimo koeficientą tam tikram bangos ilgiui galima apskaityti tasai lūžimo koeficientas n labai ilgoms bangoms (bangoms begalinio ilgio) remiantis Sellmeyerio šviesos dispersijos lygtimi (žiūr. „Šviesos" 15 §, 255, 256, 257 pusl.). Antra vertus, visiems permatomiems, skaidriems mediumams, ypač dujoms, magnetinis pralaidumas μ yra lygus gangreit vienetui. Taigi tokiems mediumams $n = \frac{c}{c_m} = c : \frac{c}{\sqrt{K}} = \sqrt{K}$. Vadinasi, lūžimo koeficientas labai ilgoms bangoms permatomiems mediumams yra lygus kvadratinei šakniai iš tų mediumų dielektrinės konstantos. Tai yra tiesioginė Maxwell'io teorijos išvada. Štai lentelė rodo, kiek šita išvada atatinka tikrenybę. (Žiur. 352 pusl).

Šitie skaičiai rodo, kad paprastesnės sudėties dujoms ir skysčiams Maxwell'io teorija labai gerai sudera su tikrenybe. Bet sudėtingesnėms dujoms ir skysčiams ir kitiems dielektrikams Maxwell'io teorijos išvados gan žymiai apsilenkia su tikrenybe. Reikia vienok turėti galvoj, kad nustatydami lūžimo koeficientus mes turime darbo su šviesos

Medžiaga	K	$\sqrt{K}$	n_∞
Vandenilis	1,000264	1,000132	1,000138
Oras	1,00059	1,000295	1,000294
Anglies monoksidas	1,000690	1,000345	1,000340
Siera	3,84	1,96	2,04
Parafinas	2,32	1,52	1,54
Terpentinas	2,21	1,49	1,46
Kerosinas	2,07	1,44	1,44
Stiklas (flint)	9,896	3,1	1,5
Ricina	4,78	2,18	1,46

bangomis, t. y. su eterio perstumomis, kurios atsikartoja kelis šimtus bilijonų sykių per sekundą, o matuodami medžiagos specifinį talpumą arba dielektrinę konstantą mes turime darbo su elektriškomis perstumomis, kurios atsikartoja tik 10 sykių arba 100 sykių per sekundą. Taigi, tokiomis sąlygomis prie tikrų elektriško elastingumo perstumų prisideda elektriško laidumo efektai ir elektrolitinio transporto efektai. Iš tikrųjų, juo sudėtingesnė medžiagos molekula, juo didesnis apsilenkimas Maxwell'io teorijos su tikrenybe, užtat ir juo didesnis galimumas elektros laidumo ir elektrolizės. Taigi, tokiuose kūnuose, kaip stiklas, mes turime kartu su elektrostatine perstuma dar kaip ir pradžią molekulos disociacijos ir tikrą disociaciją, kada elektros jėga pasiekia tam tikrą didumą. Vienu žodžiu, mes čia turime ne tiktai įtempimą del vienos (grynos) elektriškos perstumos, bet dar del prasidėjusios disociacijos medžiagos molekulų. Taigi, mes čia nematuojame to dydžio, kuris atatinka tikrą elektrišką perstumą, bet šitą dydį plius perstumą del molekulos disociacijos. Todel išmatuotas dydis K pasidaro didesnis kaip to reikia pagal lūžimo koeficientą labai ilgoms bangoms.

Pažymėti čia du faktai rodo, kad tarp elektros ir šviesos veikia intimiški santykiai. Elektromagnetinis sąjūdis skleidžiasi tuo pačiu greitumu kaip šviesos bangos. Kūnas, absorbuodamas šviesos bangas, įsigyja energijos, kūnas, leisdamas šviesą, išleidžia energiją. Einant energijos užlaikymo dėsniu, tarp emisijos ir absorbcijos ta energija randasi tuštumoje pavidalu bangų energijos. Bet bangos negalimos tuštumoje, ir todel energijos išlaikymo dėsnis reikalauja tam tikro mediumo elastingų ypatybių ir inercijos, kur ta energija glūdi pavidalu potencinės ir kinetinės energijų tarp emisijos ir absorbcijos procesų. Maxwell'io mediumas elektromagnetiniams fenomenams išaiškinti charakterizuojasi tam tikru elastingumu $\left(\frac{4\pi}{K}\right)$ ir masingumu $(4\pi\mu)$ ir jame reiškiasi elektrostatinė (potencinė) ir magnetinė (kinetinė) energijos. Greitumas, kuriuo skleidžiasi tame mediume elektromagnetinis sąjūdis, yra tas pats kaip ir šviesos greitumas. Del to Maxwell'is daro išvadą, kad elektromagnetiniai fenomenai ir šviesos fenomenai reiškiasi tam pačiam mediume, būtent, etere, ir kad šviesos banga yra elektromagnetinė banga ir, aplamai, kad jokių kitų bangų etere nėra, kaip elektromagnetinės bangos. Tos elektromagnetinės bangos skiriasi tik savo ilgiu arba periodu. Tam tikrose periodo arba dažnumo ribose tos bangos veikia mūsų kūno paviršių kaipo šilimą, trumpesnės bangos veikia mūsų akį kaipo šviesa ir dar trumpesnės bangos veikia smarkiai chemiškai. Ilgesnės bangos, kaip šilimos bangos, yra elektromagnetinės bangos, kurios tiesiog neveikia mūsų kūno organų. Tų bangų ilgis gali būti labai didelis, ligi keleto šimtų kilometrų ir daugiau.

Šitas savo išvadas Maxwell'is padarė matematiškos analizės keliu, kurį mes čia trumpai atkartosime, pasinaudodami dalinai paties Maxwell'io klasišku veikalu „Electricity and Magnetism" 2 tomai (Elektra ir magnetizmas, žiūr. 2-o tomo 247—289 pusl. ir 431—449 pusl.) ir Houstoun'o veikalu „Mathematical Physics" (Matematinė fizika, žiūr. skyrių: Elektromagnetinė šviesos teorija).

Maxwell'is savo matematinėse išvadose naudojosi žinoma Stokeso teorema. Kad ir nematematikai galėtų suprasti šitos teoremos prasmę, pasinaudosime čia pavyzdžiu.

prof. Flemingo duodamu. Įsivaizduokime, kad gatve eina pulkas kareivių. Ištiesime skersai gatvės dvi virves, apibrėždami jomis tam tikrą plotą. Kareivių pulkas turi pereiti per šitą plotą. Uždavinys: reikia apskaityti, kiek kareivių randasi plote tarp abiejų virvių per tam tikrą laiką, skaitant nuo peržengimo pirmosios virvės pirmos eilės kareivių. Šitas uždavinys galima išspręsti, jeigu prie pirmosios ir antrosios virvės bus pastatyti du stebėtojai, kurių vienas skaitys kareivius, žengiančius į plotą per pirmąją virvę, o antrasis skaitys kareivius, žengiančius iš ploto per antrąją virvę. Imdami skirtumą tarp įžengusių į plotą kareivių ir išžengusių per tam tikrą laiką, mes gausime kareivių skaičių, kuris tam tikru momentu randasi plote. Imant skaičių įžengusių į plotą kareivių su ženklu +, o išžengusių su ženklu —, skaičius kareivių, kurie randasi tam tikru momentu plote, bus lygus algebrinei sumai įžengusių ir išžengusių kareivių. Mes galime suskaityti kareivių skaičių plote tarp abiejų virvių tam tikru laiku, sumuodami skaičius kareivių, kurie nuo pradžios judėjimo įžengė per kiekvieną virvės metrą į plotą ir išžengė per kiekvieną metrą virvės iš ploto, imdami pirmuosius skaičius su ženklu +, o antruosius skaičius su ženklu —. Toki algebrinė suma vadinasi linijinis integralas, nes čia sumavimas daromas išilgai abiejų virvių, bendrai kalbant, išilgai perimetro tam tikros uždarytos figūros (svarstomuoju atveju uždaryta figūra yra keturkampis, bet keturkampio du šonus sudaro gatvės šonai, per kuriuos skaičius žengiančių į plotą kareivių ir išžengiančių yra lygus nuliui).

Antra vertus, mes galime suskaityti kareivius plote žinodami, kiek kareivių randasi ant ploto vieneto, sakysime, ant 1 kvadr. metro ir padauginę šitą skaičių į visą plotą tarp virvių. Šita sandauga (arba suma kareivių per visus ploto kvadratinius metrus) vadinasi paviršiaus integralas. Taigi, mes čia turime pavyzdį, kad linijinis integralas gali būti pakeistas paviršiaus integralu.

Pasinaudosime dabar šiuo elektrodinamikos pavyzdžiu (žiūr. 17 §). Tegu per laidininką eina srovė J. Tai yra elektros kiekis, kuris pereina per laidininko skerspjūvį, vadinasi, per tam tikrą plotą, statmenai tam plotui, per 1 sekundą. Apie šitą laidininką susidaro magnetinis laukas ir to lauko stiprumas atokume r nuo laidininko yra lygus $\frac{2J}{r}$. Jeigu mes apie ploną laidininką (ploną vielą) iš jo centro aprašysime ratą stipinu r, tai magnetinė jėga veikia tangencialiai rato linijai bet kuriam rato taške ir statmenai plokštumai, ištiestai per laidininką ir stipiną r. Sumuodami šitą magnetinę jėgą per visą rato apskritimą mes gausime integralą $\frac{2J}{r} \cdot 2\pi r = 4\pi J$. Tai bus magnetinės jėgos linijinis integralas. Antra vertus, srovė, kuri eina statmenai (normališkai) per rato plotą, yra J. Vadinasi, linijinis magnetinės jėgos integralas šituo atveju yra lygus paviršiaus integralui, padauginus šitą integralą į 4π. Atsiminsime, kad panašų atsitikimą liečia Gauso teoremą, apsvarstyta 5 §. Integravimą išilgai uždaryto rato arba, aplamai, uždarytos kilpos Maxwell'is vadina „curling", ir todel duotas dėsnis galima formuluoti taip: normališkoji srovė per tam tikrą plotą yra lygi „curl'iui" magnetinės jėgos aplink šitą plotą. „Curl" lietuviškai reiškia verpetas. Šitą terminą Maxwell'is vartoja todel, kad integravimas aplink uždarytą ratą arba kilpą yra panašus į verpeto judėjimą. Taigi, galima pasakyti ir taip: visa srovė per tam tikrą plotą, padaugintą per 4π, yra lygi verpetui magnetinės jėgos.

Terminas „curl", verpetas, paimtas iš hidrodinamikos. Dalykas tas, kad skysčius, kuris susideda iš verpetų, reiškia didelį panašumą su Maxwell'io elektromagnetinio lauko modeliu, nes tame Maxwell'io elektromagnetiniame lauke mes turime irgi magnetinių verpetų, turime ir slinkimą elektriškų dalelių, vadinasi, turime srovių. Bet taip pat mes turime sroves ir skysčiuje, kuriame yra verpetai. Todel suprantama, kad Maxwell'is, atlikdamas matematinę analizę elektromagnetinių fenomenų, naudojosi hidrodinaminėmis lygtimis Helmholtz'o ir kitų, kurie nagrinėjo skysčio judėjimus verpetais.

Priminsime, kad geometriškiems ir fiziškiems fenomenams aprašyti matematika vartoja dviejų rūšių dydžius: skalarus ir vektorius. Skalaras yra toks dydis, kuris gali būti išreikštas tam tikru realiu skaičium, neigiamu arba teigiamu, ir sumavimas skalarų

daromas prisilaikant tik algebros taisyklių. Tūris, masė, tankumas yra pavyzdžiai teigiamų skalarų. Temperatūra, elektriškas potencialas yra pavyzdžiai skalarų, kurie gali būti ir teigiami ir neigami. Vektorius yra toks dydis, kuris charakterizuojasi tam tikru skaičiumi, vadinasi, tam tikru skalaru, ir be to, dar charakterizuojasi tuo, kad vektoriaus judėjimas arba atmaina vyksta tam tikra linija ir išilgai tos linijos tam tikra prasme (augštyn ar žemyn, iš kairės pusės į dešinę arba priešingai). Taigi, jėga, greitumas, greitėjimas, momentas bus pavyzdžiai vektorių. Tokie vektoriai galima sumuoti tik einant žinoma paralelogramo taisykle. Tegu taškas iš padėties A pasiekia padėtį B, atlikęs kelią kuria nors laužta linija. Tad atliktas taško kelias, arba atstojamasai kelias, bus, taip sakant, geometrišku būdu nustatyta suma (einant paralelogramo dėsniu) visų laužtos linijos dalių. Šita suma skirsis nuo algebrinės sumos skalarų, kuriais charakterizuojasi kiekviena laužtos linijos atkarpa.

Įsivaizduokim dabar vektorių, kurio komponentos išilgai koordinatų sistemos pagrindinių krypčių yra X, Y ir Z (pavyzdžiui, komponentos skysčio srovės greitumo) ir tegu tas vektorius yra tolydinė funkcija erdvės (ilgio). Jeigu tobulame nesuspaudžiamame skysčiuje mes turime srovių, kurios sudaro uždarytus ratus arba uždarytas kilpas, ir jeigu srovei pakeliui nėra skysčio šaltinių, iš kurių į srovę arba į kanalą įvaromas skysčius, nei puolimų arba įdubimų, į kuriuos iš kanalų išteka skysčius, tai tokioms srovėms uždarytomis kilpomis veikia lygtis: $\frac{\partial X}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial y}+\frac{\partial Z}{\partial z}=0$. Bet jeigu šita sąlyga išpildyta, tai komponentos X, Y, Z (sakysime, skysčio srovės greitumo komponentos) gali būti išreikštos taip:

$$X=\frac{\partial Z}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial z} \quad (1)$$

$$Y=\frac{\partial X}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial x} \quad (2)$$

$$Z=\frac{\partial Y}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial y} \quad (3)$$

Iš tikrųjų, diferencijuodami pirmąją lygtį iš x, antrąją iš y ir trečiąją iš z ir sumuodami abidvi lygčių puses mes gausime $\frac{\partial X}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial y}+\frac{\partial Z}{\partial z}=0$. Šitie dydžiai galima pavadinti vektorių X, Y, Z potencialais (greitumo potencialas) arba paprastai vektoriais-potencialais. Tokį pat santykį Laplace nustato bet kuriam erdvės taškui, jeigu tik erdvėje nėra materijos (vadinasi, tokiai erdvei, kurioje nėra gravitacijos). Suma šitų dalinų darytinių vadinasi vektoriaus X, Y, Z divergencija ir žymima taip: div. (X,Y,Z) arba div. (R), jeigu R bus atstojamasai vektorius komponentų X, Y, Z. Vadinasi, divergencija srovių uždarytomis kilpomis yra lygi nuliui.

Šita teorema galima formuluoti ir kitaip. Pažymėsime vektoriaus (greitumo) potencialą raide V. Tad mes turime: $X=-\frac{\partial V}{\partial x}$ ir $\frac{\partial X}{\partial x}=-\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$, $Y=-\frac{\partial V}{\partial y}$ ir $\frac{\partial Y}{\partial y}=-\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}$ ir $Z=-\frac{\partial V}{\partial z}$ ir $\frac{\partial Z}{\partial z}=-\frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$. Iš to: $\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial z^2}=0$. (Laplace'o lygtis) arba $\nabla^2 V=0$, jeigu mes $\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$ pažymėsime ženklu ∇.

Grįškime dabar prie Stokeso teoremos, kuri nustatyta sąryšy su hidrodinaminiais tyrinėjimais. Matematiškai šita teorema išreiškiama taip:

$$\int\left(X\frac{dx}{ds}+Y\frac{dy}{ds}+Z\frac{dz}{ds}\right)ds=\int\left(Xdx+Ydy+Zdz\right)=$$

$$=\int\int\left\{l\left(\frac{\partial Z}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial z}\right)+m\left(\frac{\partial X}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial x}\right)+n\left(\frac{\partial Y}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial y}\right)\right\}dS\ldots$$

Čia kairioji lygties pusė reiškia linijinį integralą vektoriaus (X, Y, Z) aplink bet kurią uždarytą kreivą liniją erdvėje, o dešinioji lygties pusė reiškia paviršiaus integralą, sudarytą per paviršių, arba sluogsnį, apibrėžtą minėta kreiva linija, nepaisant to paviršiaus formos ir didumo. Dydžiai l, m, n čia reiškia kosinus kryptis linijos, statmeniškos arba normališkos paviršiui, kitaip sakant, l, m, n iš eilės reiškia kosinusus kampų, kuriuos ta normališkoji sudaro su koordinatomis X, Y, Z. Šita normališkoji laikoma teigiama, kada sudarant linijinį integralą aplink uždarytą kreivą liniją einama taip, kaip sukasi dešinysis sraigtas ir kada slinkimas to sraigto pirmyn sutampa su normališkosios kryptimi. Priešingu atveju ta normališka laikoma neigiamąja. dS reiškia ploto arba paviršiaus elementą, ir dvigubas integralas imamas, kad būtų parodyta, kad čia sumuojamos normališkosios per visus paviršiaus elementus dS dviem kryptimis (aplamai $S = xy$ ir $dS = xdy + ydx$). X, Y, Z yra komponentos vektoriaus F (sakysime, srovės greitumo). Dydžiai dvigubo integralo skliaustuose

$$\frac{\partial Z}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial z}, \quad \frac{\partial X}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial x}, \quad \frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial y}$$

irgi yra vektoriaus komponentos. Šitą vektorių Maxwell'is vadina „curl'iu" F. Taigi, žodžiu, šita Stokeso teorema galima išreikšti taip:

Linijinis integralas vektoriaus F tangentinės komponentos, paimtas aplink bet kurią uždarytą kreivą liniją, yra lygus paviršiaus integralui normališkosios komponentos to paties vektoriaus „curl'io" (curl F), sudarant šitą integralą per visą paviršių, apibrėžtą uždaryta kreiva linija. Pavadinsime šitą teoremą pirmąja aplinkine teorema ir pritaikysime ją elektromagnetiniam laukui.

Įsivaizduokime visų pirma erdvės dalį užpildytą išimtinai laidininkais, kuriuose teka elektros srovės įvairių įvairiausiomis kryptimis. Apibrėšime dalį tos erdvės uždarytu ratu. Pažymėsime srovės komponentas per vieneto plotą trimis pagrindinėmis kryptimis (X, Y, Z) iš eilės ženklais u, v, w ir magnetinės jėgos komponentas iš eilės ženklais α, β, γ. Tad taikydami uždarytam ratui Stokeso teoremą mes turėsime:

$$\int \{\alpha dx + \beta dy + \gamma dz\} = \int\int \left\{ l\left(\frac{\partial \gamma}{\partial y} - \frac{\partial \beta}{\partial z}\right) + m\left(\frac{\partial \alpha}{\partial z} - \frac{\partial \gamma}{\partial x}\right) + n\left(\frac{\partial \beta}{\partial x} - \frac{\partial \alpha}{\partial y}\right)\right\} dS \quad (1).$$

Antra vertus, eidami duotuoju dėsniu, kad linijinis integralas magnetinės jėgos aplink uždarytą ratą yra lygus srovei per plotą, apibrėžtą tuo ratu, padauginus į 4π, mes galime parašyti tokią lygtį:

$$\int \{\alpha dx + \beta dy + \gamma dz\} = \frac{4\pi}{c} \int\int \{lu + mv + nw\} dS \quad (2).$$

Čia kairėje lygties pusėje mes turime magnetinės jėgos integralą, išreikštą, vadinasi, magnetiniais vienetais, o dešinėje pusėje turime srovės integralą per visą paviršių, išreikštą elektrostatiniais vienetais. Šitą integralą turime padalyti į c, kad šitą srovę išreikštume tais pačiais vienetais, kaip ir magnetinę jėgą. Vadinasi, c yra santykis tarp elektromagnetinio ir elektrostatinio srovės vienetų.

Sulygindami lygtis (1) ir (2) mes gausime: $\frac{4\pi}{c} \int\int \{lu + mv + nw\} dS =$

$$= \int\int \left\{ l\left(\frac{\partial \gamma}{\partial y} - \frac{\partial \beta}{\partial z}\right) + m\left(\frac{\partial \alpha}{\partial z} - \frac{\partial \gamma}{\partial x}\right) + n\left(\frac{\partial \beta}{\partial x} - \frac{\partial \alpha}{\partial y}\right)\right\} dS.$$

Iš čia išeina:

$$\frac{4\pi u}{c} = \frac{\partial \gamma}{\partial y} - \frac{\partial \beta}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{4\pi v}{c} = \frac{\partial \alpha}{\partial z} - \frac{\partial \gamma}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{4\pi w}{c} = \frac{\partial \beta}{\partial x} - \frac{\partial \alpha}{\partial y} \quad (3).$$

Diferencijuodami pirmąją lygtį iš x, antrąją iš y ir trečiąją iš z ir sudėdami gautas tokiu būdu diferencines lygtis mes gausime: $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$. Šita lygtis sako, kad divergencija srovės laidininkuose yra lygi nuliui. Vadinasi, srovė laidininkuose teka uždarytais ratais, arba uždarytomis kilpomis, nelyginant kaip srovė skysčiuje, nesant srovės vamzdžiuose arba kanaluose skysčio šaltinių ir tuštumų. Taigi, srovės laidininkuose visuomet vyksta uždarytais ratais, arba uždarytomis kreivomis linijomis. Reikia pasakyti, kad linijos integralas galima visuomet pakeisti paviršiaus integralu. Bet paviršiaus integralas galima pakeisti linijos integralu tiktai tada, kada srovės divergencija yra lygi nuliui.

Įsivaizduokime dabar izoliuotą laidininką, sakysime, vielą. Prijungsime šitos vielos galą prie batarejos polio. Tada viela staiga bus užtaisyta elektriškai, ir mes vieloje turėsime laidumo srovę, bet neuždarytą. Aprašysime apie labai mažą vielos dalį dx rutulį ir pažymėsime vielos užtaisymo laiką ženklu dt. Tada per tą laiką elektros kiekis rutulio vidury padidės per dq. Tegu vielos skerspjūvis bus σ ir srovė per vienetą skerspjūvio ploto (per 1 cm.^{2}) bus u. Tad per kiekvieną sekundą į vielos elementą dx priteka σu elektros, o nuteka $\sigma u + \sigma \frac{\partial u}{\partial x} dx$ (einant Tayloro teorema). Taigi, susitaupymas elektros per 1 sekundą elemente dx (kitaip sakant, rutulio vidury) bus $\sigma u - \sigma\left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx\right) = -\sigma \frac{\partial u}{\partial x} dx = \frac{dq}{dt}$. Tai rodo, kad $\frac{\partial u}{\partial x}$ negali būti nuliu nė vienam vielos taškui. Vadinasi, tokiai srovei negalima taikyti Stokeso teoremos. Taigi Maxwell'is ir keičia srovės koncepciją taip, kad divergencijos lygtis galima būtų taikyti visokioms srovėms, vadinasi, ir kintamosioms laidumo srovėms ir perstumos srovėms dielektrikuose. Maxwell'is įrodo, kad imant vadinamą tikrą srovę arba visą srovę, kuri yra lygi sumai laidumo srovių, perstumos srovių ir konvekcijos srovių, tokiai tikrai srovei divergencijos lygtis turi visos galios. Kitaip sakant, toki tikra srovė irgi vyksta uždarytomis kreivomis linijomis.

Paimsime užtaisytų konduktorių lauką dielektrike. Tegu bet kuriam taške šito lauko randasi nedidelis + elektros įlydis e ir tegu to lauko intensingumas šitame taške bus E. Atokume r nuo šito taško elektriško lauko stiprumas arba elektriškas intensingumas bus $E = \frac{e}{Kr^2}$. Čia K reiškia dielektrinę konstantą mediumo. Taigi, mes turime mediume elektrišką perstumą $D = \frac{e}{4\pi r^2} = \frac{K}{4\pi} E$, jeigu imame $e = E.Kr^2$. Vadinasi, taške mediumo, kuriame randasi elektros įlydis e, susidaro įtempimas. Kitaip sakant, iš to taško skleidžiasi elektriška perstuma ir tos perstumos atmaina sudaro perstumos srovę. Taigi, tikra srovė yra lygi šitai perstumos srovei plius laidumo srovė, ir abidvi tos srovės sudaro magnetinį lauką. Tuos pačius santykius mes turėsime mediume, kuriame elektros įlydis e slenka tam tikru greitumu v. Įsivaizduokime statmenai įlydžio slinkimo linijai ratą. Tada per šitą ratą mes turėsime perstumos srovę, ir elektriška perstuma bus proporcinga kietam (erdviniam) kampui, kurį sudaro linijos, ištiestos iš įlydžio taško e su rato plotu. Artinantis įlydžiui prie rato kietas kampas didėja, vadinasi,

didėja ir elektriška perstuma. Kitaip sakant, per ratą eina perstumos srovė, kuri sudaro magnetinę jėgą arba magnetinį intensingumą tangencialiai rato apskritimui. Tokiomis sąlygomis mes turime pamato kalbėti apie paviršiaus integralą per rutulio paviršių (rutulio, aprašyto apie vielos elementą dx) ir tuo pačiu laiku mes turime tangentinę magnetinę jėgą. Vadinasi, mes tokiu atveju galime taikyti Stokeso teoremą ir linijiniam integralui magnetinės jėgos prilyginti paviršiaus integralą perstumos srovės. Konvekcinė srovė niekuo nesiskiria nuo perstumos srovės. Vadinasi, tikrai srovei arba visai srovei mes galime taikyti Stokeso teoremą, nes šita tikra srovė vyksta uždarytomis kreivomis linijomis ir jai turi galios divergencijos lygtis.

Grįždami dabar prie lauko, sudaryto dielektrikais ir laidininkais, išreikšime šitą tikrą arba visą srovę matematiškai. Pažymėsime mediumo laidumą raide λ. Esant bet kuriam to mediumo taške elektriškam intensingumui E (elektriško lauko stiprumas), visas laidumas arba laidumo srovė bus λE. Pažymėsime komponentas šito elektriško intensingumo trimis pagrindinėmis kryptimis iš eilės ženklais X, Y, Z. Tad komponentos laidumo srovės šitomis trimis kryptimis bus λX, λY, λZ.

Elektriška perstuma $D = \frac{K}{4\pi} E$. Vadinasi, tos perstumos komponentos trimis pagrindinėmis kryptimis bus $\frac{K}{4\pi} X$, $\frac{K}{4\pi} Y$, $\frac{K}{4\pi} Z$ ir perstumos srovės komponentos bus $\frac{K}{4\pi}\frac{\vartheta X}{\vartheta t}$, $\frac{K}{4\pi}\frac{\vartheta Y}{\vartheta t}$, $\frac{K}{4\pi}\frac{\vartheta Z}{\vartheta t}$. Taigi, tikros srovės komponentos bus lygios sumai laidumo srovės ir perstumos srovės komponentų, t. y. bus $\lambda X + \frac{K}{4\pi}\frac{\vartheta X}{\vartheta t}$, $\lambda Y + \frac{K}{4\pi}\frac{\vartheta Y}{\vartheta t}$ ir $\lambda Z + \frac{K}{4\pi}\frac{\vartheta Z}{\vartheta t}$. Pakeisdami šitais dydžiais laidumo srovės komponentas u, v, w lygtyse (1), (2) ir (3) mes gausime tokias tris lygtis:

$$1)\quad \frac{4\pi\lambda}{c} X + \frac{K}{c}\frac{\vartheta X}{\vartheta t} = \frac{\vartheta \gamma}{\vartheta y} - \frac{\vartheta \beta}{\vartheta z};$$

$$2)\quad \frac{4\pi\lambda}{c} Y + \frac{K}{c}\frac{\vartheta Y}{\vartheta t} = \frac{\vartheta \alpha}{\vartheta z} - \frac{\vartheta \gamma}{\vartheta x};$$

$$3)\quad \frac{4\pi\lambda}{c} Z + \frac{K}{c}\frac{\vartheta Z}{\vartheta t} = \frac{\vartheta \beta}{\vartheta x} - \frac{\vartheta \alpha}{\vartheta y}.$$

Tai yra pirmutinės Maxwell'io trys lygtys elektromagnetinio lauko. Dešinioji tų lygčių pusė sudaryta magnetinės jėgos komponentomis. Taigi sudėdami tas tris lygtis mes galime pakeisti jas viena lygtimi, būtent: $\frac{4\pi\lambda}{c} E + \frac{K}{c}\frac{\vartheta E}{\vartheta t} = \text{curl H}$. (I). Zodžiu, tikros srovės paviršiaus integralas yra lygus „curl'iui" arba verpetui magnetinės jėgos H. Šitose lygtyse, kaip jau paminėta, c reiškia santykį elektromagnetinio ir elektrostatinio elektros kiekio vienetų. Iš dešinės pusės lygties mes turime dydį H, išreikštą elektromagnetiniais vienetais, o iš kairės dydį E, išreikštą elektrostatiniais vienetais. Todel kairioji pusė dalijama į c.

Eisime dabar prie Faraday'aus indukcijos srovių, atsimindami, kad indukcijos srovė pareina nuo medžiagos, o elektrovaromoji jėga nuo medžiagos nepareina. Jeigu mes turime mediume magnetinį polį m, tai mediumas apie šitą polį įtemptas ir šitą įtempimą mes vadiname magnetine indukcija. Jeigu mes turime izotropinį mediumą, tai tokiam mediume kryptis magnetinės indukcijos B ir magnetinės jėgos H sutampa ir, vadinasi, tokiam mediumui veikia lygtis: $B = \mu H$. Čia μ reiškia mediumo magnetinį pralaidumą. Pažymėsime komponentas magnetinės indukcijos trimis pagrindinėmis kryptimis iš eilės raidėmis a, b, c ir komponentas magnetinės jėgos raidėmis α, β, γ (kryptimis X, Y, Z). Tad $a = \mu\alpha$, $b = \mu\beta$ ir $c = \mu\gamma$. Magnetinei indukcijai veikia

Gauso teorema (žiūr. 5 §), nes magnetinės indukcijos linijos yra uždarytos kilpos. Vadinasi, $\int N\,d\,S = 0$. Čia N reiškia normališką uždarytam paviršiui magnetinės indukcijos komponentą. Antra vertus, pažymėję indukcijos komponentų kosinus — kryptis iš eilės raidėmis l, m, n, mes Gauso teoremą indukcijos sriautai galime parašyti taip: $\int\int \left(l\,a + m\,b + n\,c\right) dS = 0$. Bet iš paskutinės lygties bus: $\frac{\vartheta a}{\vartheta x} + \frac{\vartheta b}{\vartheta y} + \frac{\vartheta c}{\vartheta z} = 0$. Vadinasi, divergencija magnetinės indukcijos yra lygi nuliui, ir todel magnetinei indukcijai galima taikyti Stokeso teorema.

Įsivaizduokim dabar sau magnetiniame lauke ratą, kuriuo slenka srovė, ir tegu magnetinė indukcija B sudaro tam tikrą kampą su to rato plokštuma. Padalysime plotą, apimtą srovės ratu, į daugybę ploto elementų. Padauginę kiekvieną tokį elementą į normališką komponentą magnetinės indukcijos B šitam plotui, ir sudėję visas tas sandaugas, mes gausime tokį integralą: $\int\int \mu \left(l\alpha + m\beta + n\gamma\right) dS$. Tai yra paviršiaus integralas normališkosios magnetinės indukcijos per srovės rato plotą (reikšmė visų šito integralo ženklų jau anksčiau nurodyta).

Vertė šito integralo kitės, jeigu prie srovės rato artinsime arba tolinsime nuo jo magnetą arba jeigu kitame gretimame rate sudarysime arba pertrauksime srovę. Vadinasi, kitės magnetinė indukcija arba magnetinis sriautas per rato apimtą plotą, ir todel rate susidarys indukcijos srovė. Tegu pirmajame rate indukuoto elektriško lauko stiprumas arba elektriškas intensingumas duotame rato taške bus E. Paimsime ant rato labai trumpą elementą ds ir tegu potencialų skirtumas arba elektrovaromoji jėga šitame rato elemente ds bus dP. Tad $E = -\frac{dP}{ds}$, imant E išilgai elemento ds. Bet, jeigu E sudaro su elementu ds kampą ϑ, tai komponenta E išilgai elemento ds bus $E \cos \vartheta$ ir, vadinasi, mes tada turėsime $E \cos \vartheta = -\frac{dP}{ds}$ arba $E \cos \vartheta \,.\, ds = -\,dP$. Tai bus indukuota elektrovaromoji jėga elemente ds. O visa indukuota jėga bus lygi $\int E \cos \vartheta\, ds$. Šita elektrovaromoji jėga, einant Neumano 1845 metais nustatytu dėsniu, turi būti lygi atmainai magnetinės indukcijos arba magnetinio sriauto per rato plotą per 1 sekundą. Taigi mes turėsime tokią lygtį: $-c \int E \cos \vartheta ds = \frac{\vartheta}{\vartheta t}\int\int \mu\left(l\alpha + m\beta + n\gamma\right) dS \left(1\right)$. Čia koeficientas c reiškia santykį elektrostatinio ir elektromagnetinio potencialo vienetų. Dalykas tas, kad dešiniojoj pusėj šitos lygties elektrovaromoji jėga išreikšta elektromagnetiniais vienetais, o kairiojoj pusėj elektrostatiniais vienetais. Elektromagnetinis vienetas elektrovaromosios jėgos paimtas kaip tik toks, kad jo sandauga į elektromagnetinį elektros vienetą būtų lygi 1 ergui. Tuo tarpu elektrostatinis elektrovaromosios jėgos (potencialo) vienetas yra lygus kaip tik 1 ergui. Tokiomis sąlygomis elektromagnetinis elektrovaromosios jėgos vienetas yra $c = 3 \,.\, 10^{10}$ sykių didesnis kaip elektrostatinis to paties dydžio vienetas, ir todel kairioji Neumano lygties pusė dauginama į c. Duota Neumano lygtis vadinasi a n t r o j i a p l i n k i n ė t e o r e m a.

Kada srovė indukuojama metalo masėje, tai mes turime ten kintamąją magnetinę indukciją. Taigi, bet kuriam taške tokio lauko kintamosios magnetinės indukcijos indukuojama elektriška jėga E. Todel žinodami E mes galime su pagalba šito E išreikšti

atmainą magnetinės indukcijos ir pritaikyti Stokeso teoremą indukuotai elektrovaromajai jėgai ir magnetinei indukcijai. Tegu komponentos E trimis pagrindinėmis kryptimis bus X, Y, Z. Tad taikydami Stokeso teoremą mes gausime:

$$c\int E\cos\vartheta\,ds = c\int\int\left\{l\left(\frac{dZ}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial z}\right)+m\left(\frac{\partial X}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial x}\right)+n\left(\frac{\partial Y}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial y}\right)\right\}dS\left(2\right).$$

Čia l, m, n yra cosinus — kryptis vektorių skliaustuose. Sulygindami lygtis (1) ir (2) mes gausime:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int\int\mu\left(l\alpha+m\beta+n\gamma\right)dS=-c\int\int\left\{l\left(\frac{\partial Z}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial z}\right)+m\left(\frac{\partial X}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial x}\right)+n\left(\frac{\partial Y}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial y}\right)\right\}dS,$$

iš to bus:

$$1)\ \frac{\mu}{c}\frac{\partial\alpha}{\partial t}=-\left(\frac{\partial Z}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial z}\right),$$

$$2)\ \frac{\mu}{c}\frac{\partial\beta}{\partial t}=-\left(\frac{\partial X}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial x}\right),$$

$$3)\ \frac{\mu}{c}\frac{\partial\gamma}{\partial t}=-\left(\frac{\partial Y}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial y}\right).$$

Tai yra kitos trys Maxwell'io pagrindinės lygtys elektromagnetiniam laukui. Iš kairės pusės mes čia turime magnetinės indukcijos atmainas trimis pagrindinėmis kryptimis, o iš dešinės pusės srovės komponentas tomis pačiomis pagrindinėmis kryptimis u, v ir w. Sutraukdami šitas tris lygtis į vieną mes turėsime: $\frac{\mu}{c}\cdot\frac{\partial H}{\partial t}=-\operatorname{curl} E.$ (II)

Žodžiu, paviršiaus integralas magnetinės indukcijos normališkai paviršiui yra lygus verpetui elektriškos jėgos (linijiniam integralui tos jėgos, imant tą integralą per visą srovės ratą ir suteikiant jam ženklą —).

Taigi, iš viso mes turime 6 pagrindines lygtis, kurios įgalina mus apskaityti srovę, veikiančią duoto stiprumo magnetiniam lauke, arba apskaityti magnetinę indukciją, jeigu žinoma elektriška jėga, veikianti elektromagnetiniame lauke. Taigi, naudodamiesi šitomis lygtimis, mes galime išspręsti visokius uždavinius, surištus su elektromagnetiniais fenomenais ir sekti tuos fenomenus kaipo funkcijas erdvės ir laiko. Duosime čia tik vieną pavyzdį šitų lygčių naudojimo, kuris turi didelės istoriškos reikšmės ir kuris aiškiai rodo didelį svarbumą šitų Maxwell'io lygčių.

Grįšime prie pirmųjų trijų lygčių, kurios išreiškia srovę su pagalba magnetinės jėgos, ir sakysime, kad mes turime tokį mediumą, kurio laidumas $\lambda = 0$. Taigi, tokiame mediume mes turėsime tik perstumos srovę ir šias tris lygtis:

$$\frac{K}{c}\frac{\partial X}{\partial t}=\frac{\partial\gamma}{\partial y}-\frac{\partial\beta}{\partial z};$$

$$\frac{K}{c}\frac{\partial Y}{\partial t}=\frac{\partial\alpha}{\partial z}-\frac{\partial\gamma}{\partial x};$$

$$\frac{K}{c}\frac{\partial Z}{\partial t}=\frac{\partial\beta}{\partial x}-\frac{\partial z}{\partial y}.$$

(laidumo srovės tokiam mediume yra lygios nuliui).

Diferencijuodami šitas lygtis sulig t mes gausime iš pirmos lygties:

$$\frac{K}{c}\frac{\partial^2X}{\partial t^2}=\frac{\partial^2\gamma}{\partial y\partial t}-\frac{\partial^2\beta}{\partial z\partial t}\ (I).$$

Paimsime dabar iš paskutinių trijų lygčių

$$2)\ \frac{\mu}{c}\frac{\partial\beta}{\partial t}=-\left(\frac{\partial X}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial x}\right);\ 3)\ \frac{\mu}{c}\frac{\partial\gamma}{\partial t}=-\left(\frac{\partial Y}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial y}\right).$$

Diferencijuodami trečiąją lygtį iš y ir antrąją iš z mes gausime:

$$\frac{\mu}{c}\frac{\partial^2\gamma}{\partial t\partial y} = -\left(\frac{\partial^2 Y}{\partial x\partial y} - \frac{\partial^2 X}{\partial y^2}\right) \text{ ir } \frac{\mu}{c}\frac{\partial^2\beta}{\partial t\partial z} = -\left(\frac{\partial^2 X}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 Z}{\partial x\partial z}\right).$$

Pakeisdami lygtyje (I) $\frac{\partial^2\gamma}{\partial y\partial t}$ ir $\frac{\partial_2\beta}{\partial z\partial t}$ tų dydžių vertėmis iš paskutinių dviejų diferencinių lygčių gausime tokią lygtį:

$$\frac{K\mu}{c^2}\frac{\partial^2 X}{\partial t^2} = -\frac{\partial^2 Y}{\partial x\partial y} + \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 Z}{\partial x\partial z}.$$

Pridėdami prie dešiniosios lygties pusės ir atidėdami nuo jos didį $\frac{\partial^2 X}{\partial x^2}$ ir sutraukdami mes pagaliau prieisime tokias lygtis:

$$\frac{K\mu}{c^2}\frac{\partial^2 X}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} + \frac{\partial X}{\partial x}\right).$$

Bet $\frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} + \frac{\partial X}{\partial x} = 0$ (divergencija vektoriaus X, Y, Z yra lygi nuliui). Taigi bus:

$$\frac{K\mu}{c^2}\frac{\partial^2 X}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \text{ arba priėmus } \frac{c^2}{K\mu} = v^2$$

$$\frac{\partial^2 X}{\partial t^2} = v^2\left(\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial z^2}\right).$$

Atlikę nurodytas čia operacijas su visomis trimis perstumos srovės lygtimis, mes gausime 3 lygtis variacijos arba judėjimo komponentų (X, Y, Z).

Paskutinė lygtis yra bangos lygtis apibendrintos formos, tokios bangos, kuri skleidžiasi greitumu v. Mes visi savo patyrimu turime supratimo, kas tai yra bangavimas, arba banga. Bet, jeigu paklausime matematiką, kas yra banga, tai jis pasakys, kad ji yra tokia funkcija erdvės (X, Y, Z) ir laiko t, kuri patenkina duotą deferencinę lygtį antrojo laipsnio. Tai bus tokio judėjimo lygtis, kuris periodiškai kinta laiku ir vieta. Taigi, matyti iš Maxwell'io lygčių, kad dielektrike elektriškas intensingumas (ir magnetinis intensingumas) skleidžiasi bangomis greitumu $V = \frac{c}{\sqrt{K\mu}}$. Kadangi orui ir tuštumai $K = 1$ ir $\mu = 1$ (orui gangreit), tai ore ir tuštumoje elektromagnetinis sąjūdis skleidžiasi greitumu $c = 3.10^{10}$ cm. per sekundą, kaip jau įrodyta šitame paragrafe. Vadinasi, elektromagnetinis sąjūdis skleidžiasi tuo pačiu greitumu kaip ir šviesa. Vadinasi, šviesos fenomenai ir elektromagnetiniai fenomenai įvyksta tam pačiam mediume, būtent pasauliniam etere, ir todel šviesos bangos ir elektromagnetinės bangos savo esmės atžvilgiu yra tas pats dalykas. Šitą savo matematinių nagrinėjimų išvadą Maxwell'is paskelbė 1865 metais. Jis nepasitenkino tik šita išvada ir apskaitė elektromagnetinių bangų ir šviesos bangų spaudimą, nes banga turi energijos, turi tam tikrą judėjmo momentą ir, vadinasi, reiškia spaudimą. Taip pat jis numatė, kad elektromagnetinės bangos, kaip ir šviesos bangos, reiškia atspindžio, refrakcijos, interferencijos ir polarizacijos fenomenus ir davė interpretaciją magnetinio veikimo šviesai. Be to, išaiškino santykius elektros laidumo nepermatomų kūnų ir davė lygtis plokščios bangos izotropiniuose ir anizotropiniuose kristaluose. Pagaliau, jis aiškiai nurodė, kad elektromagnetinė banga yra sudėta iš elektriškos ir magnetinės bangų, kurių periodinės variacijos vyksta statmenai viena antrai. Bet praėjo daugiau kaip 20 metų, kol šitos matematinės Maxwell'io išvados buvo patvirtintos bandymais, ir davė savo vaisių bevielio telegrafo ir bevielio telefono išradimą. Apie tai teks mums kalbėti kitame paragrafe.

24 §. Periodiškasis kondensatoriaus išlydis. Kas yra elektromagnetinė banga ir elektromagnetinė radiacija? Henricho Hertz'o darbai. Hertz'o vibratoriai ir rezonatoriai. Elektromagnetinės bangos ir šviesos bangos. Zeemano efektas. Elektrono virpėjimai — šviesos bangų priežastis. Pritaikymai. Bevielis telegrafas. Kohererio reikšmė. Bevielis telefonas. Termioniško plautelio reikšmė. Pasaulinis garsų perdavimas ir gaudymas.

Numatytos Maxwell'io elektromagnetinės bangos ir tų bangų panašumas į šviesos bangas visais atžvilgiais buvo konstatuotos bandymais sekant kondensatorių išlydžiais. Šitie išlydžiai paliesti jau 9 ir 21 §§. Reikia pasakyti, kad pirmutinis žmogus, kuris atkreipė dėmesį į tai, kad kondensatoriaus išlydis vyksta svyravimais, arba oscilacijomis, buvo jau anksčiau paminėtas Juozapas Henry's Washingtone, kuris gyveno tais pačiais laikais kaip ir Mykolas Faraday'us ir kuris lygiai, kaip ir Faraday'us, laikomas yra elektromagnetinės indukcijos išradėju. Jis taip pat yra vienas telegrafo išradėjų (jis paminėtas 19 §) ir yra žymiai prisidėjęs prie telegrafo ištobulinimo. Jam buvo žinomas faktas, kad plieno adatos, kurios randasi arti nuo Leydeno bonkos, vykstant tos bonkos išlydžiui kibirkštimi, įsimagnetina (arba kada tos adatos sudaro dalį rato arba lanko, per kurį vyksta bonkos išlydis), bet tai viena, tai antra kryptimi, vadinasi, ne visuomet ta pačia prasme. Šitas faktas buvo vokiečių fizikų konstatuotas; jie vienok nesugebėjo išaiškinti šito fakto ir matė tame tik „anomališką magnetinimą". 1842 metais minėtas J. Henry atkartojo plieno adatų magnetinimą Leydeno bonkos išlydžiais ir išaiškino vadinamą anomališką magnetinimą. Jis rašo, kad Leydeno bonkos išlydis „nėra tik paprastas perėjimas elektros fluido nuo vieno bonkos pamušalo į antrąjį. Išlydžio fenomenas savaime rodo, kad turi būti pagrindinis vienos krypties išlydis ir paskui keletas refleksų vienos ir antrosios prasmės, kurie eina vis silpnyn ir silpnyn, kol bus gauta elektros pusiausvyra". Taigi suprantama, kad plieno adata gali pasirodyti įmagnetinta vienąsyk viena kryptimi, o kitąsyk kita kryptimi.

1853 metais Williamas Thomsonas išnagrinėjo teoretiškai problemą Leydeno bonkos išlydžio ir priėjo išvadas, kad tas išlydis gali būti išsyk ir tik vienos krypties arba gali vykti oscilacijomis. Įsivaizduokime sau švytuoklę, pakabintą labai klampiame skystime. Atlenkus šitą švytuoklę iš pusiausvyros būklės ji išsyk ir nesvyruodama pamaži grįš į savo pusiausvyros būklę (kaip sakoma, asimptotiškai pasieks pusiausvyros būklę). Jeigu ta pati švytuoklė bus ore, kurio klampumas yra nedidelis, tai atlenkta iš pusiausvyros būklės švytuoklė atliks visą eilę švytavimų, nuolat mažėjant švytavimų amplitūdoms, ir pagaliau pasieks pusiausvyros būklę. Mes čia turime eilę slopinamų švytavimų, kurių teorija išdėstyta „Bangų mokslo" 3 §. Vadovaudamasis tais pačiais samprotavimais ir lygtimis, kaip tai išdėstyta minėtame 3 § „Bangų mokslo", Thomsonas duoda pilną teoriją Leydeno bonkos išlydžio ir nustato tokią formulą to išlydžio periodui

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

(žiūr. 21 §). Čia C reiškia Leydeno bonkos talpumą, R išlydžio lanko varžą ir L išlydžio lanko saviindukcijos koeficientą. C, L ir R išreikšti čia elektromagnetiniais vienetais. Išreiškiant C elektrostatiniais vienetais reikia vardiklis duotos formulos padauginti dar į v (šviesos greitumas).

Kada R yra labai didelis sulyginus su L, tai bonkos išlydis vyksta tolydžiai tik viena prasme, ir mes turime paprastą elektros tekėjimą, kuris asimptotiškai pasiekia pusiausvyrą. Taigi, tokiu atveju įlydžio judėjimas yra panašus į judėjimą švytuoklės labai klampiame skysčiuje, atlenktos iš pusiausvyros būklės. Kada $R = \sqrt{\frac{4L}{C}}$, tai

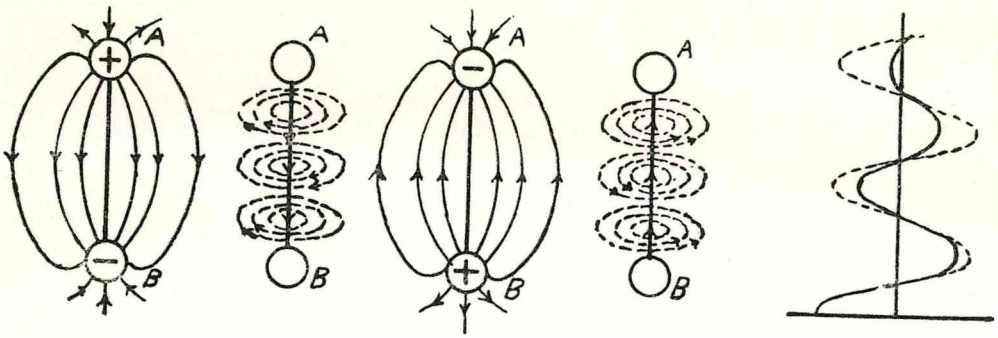
išlydis irgi vyksta pavidalu srovės viena prasme, bet šita sąlyga sudaro ribas tokiam išlydžiui viena prasme. Kada $R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$, tada išlydis vyksta oscilacijomis, ir juo mažesnis R sulyginti su $\sqrt{\frac{4L}{C}}$, juo daugiau tokių oscilacijų sudaro išlydis. Tų oscilacijų amplitūdos nuosekliai mažėja, taip kad mes ir čia turime slopinamas oscilacijas. Taigi tasai išlydis yra panašus į švytuoklės svyravimus, kuri randasi mažo klampumo mediume, kuriame veikia silpnos trynimo jėgos. Kada R labai sumažėja, sulyginti su L, tai duota formula oscilacijų periodui atrodo taip: $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Kaip jau pasakyta 9 §, šitos teoretiškos Thomson'o išvados buvo patiktrintos Feddersen'o 1858 metais ir vėliau Helmholtz'o ir Schiller'o, sekant išlydį kibirkštimis greitai sukamame veidrodyje arba atmušant kibirkšties šviesą greitai sukamu veidrodžiu ant fotografinės plokštelės ir gaunant tokiu būdu fotografijas atskirų kibirkštelių, kurios atatinka atskiroms kibirkšties oscilacijoms. Periodas šitų oscilacijų pasirodė labai mažas, apie milijoninę dalį sekundos ir dar mažiau. Todel tokiam išlydžiui buvo pavartotas „oscilacijos" vardas, kad būtų atskirtas toks išlydis nuo kintamosios srovės, kurios dėsniai aprašyti 22 §. Dažnumas kintamosios srovės retai būna didesnis kaip 200, vadinasi, periodas kintamosios srovės labai retai būna mažesnis kaip $^1/_{200}$ dalis sekundos. Leydeno bonkos išlydis irgi yra kintamoji srovė, bet dažnumo vienas milionas ir daugiau. Kintamoji srovė kai kuriais atvejais reiškia griežtą skirtumą nuo nuolatinės srovės. Taip pat kintamoji srovė didelio dažnumo griežtai skiriasi nuo kintamosios srovės mažo dažnumo ir visų pirma tuo, kad impedansas galutinai užima dominuojančią poziciją, sulyginti su varža, ir todel kintamoji srovė didelių dažnumų, sakysime, pradedant nuo 1000, vadinama elektros oscilacijomis. Mes tada turime vadinamą impulsų išlydį, o tokiam impulsyviam išlydžiui ypatingos reikšmės įgyja elektromagnetinės inercijos arba saviinducijos apsireiškimai. Paaiškinsime skirtumą tarp paprasto išlydžio ir impulsyvio išlydžio tokiu pavyzdžiu. Padėjus ant akmens piroksilino gabalą ir padegus jį, nieko baisaus neatsitiks: piroksilinas sudegs greitai, ir jo energija daugiausia bus išeikvota nustumti oro sluogsniui nuo akmens. Tokiomis sąlygomis bus pakankamai laiko, kad oro dalelių inercija būtų pergalėta išsiplėtimu dujų, kurios susidaro degant piroksilinui. Bet, jeigu padėję ant akmens piroksiliną, sudarytume jo detonaciją, tai piroksilinas, taip sakant, degs taip greitai, kad jo degimas veiks kaip impulsas, o tokiam impulsui, kitaip sakant, didelei jėgai, veikiančiai labai trumpą laiką, oro dalelių inercija bus žymiai didesnė, ir visas piroksilino veikimas susikoncentruos ant akmens. Akmuo bus suskaldytas. Panašių santykių mes turime tinkle, kuriame veikia impulsyvis išlydis. Elektromagnetinė inercija tokio tinklo nepaprastai didėja, ir todel gali atsitikti, kad toksai impulsyvis išlydis lengviau vyksta per didelės varžos laidininką, kaip per mažos varžos laidininką, nes tasai išlydis vyksta lengviau tuo keliu, kuriuo elektromagnetinės inercijos arba saviindukcijos pasipriešinimas yra mažesnis(žiūr. 10 § ir 21 §).

Kondensatoriaus išlydis kibirkštimis vyksta tam tikrame mediume (tame ar kitame dielektrike). Taigi, tame mediume, einant Maxwell'io teorija, skleidžiasi elektromagnetinis sąjūdis bangų pavidalu šviesos greitumu. Pirmutinis Fitz-Gerald'as, anglų fizikas, 1883 metais nurodė, kad išlydis kondensatoriaus yra židinys elektromagnetinių bangų ir kad atatinkamai atliekant šituos išlydžius galima patikrinti Maxwell'io teorija.

Norėdami duoti aiškesnį elektromagnetinės bangos vaizdą, kaip ji susidaro ir kas yra elektromagnetinė banga, pasinaudosime šiais pavyzdžiais. Įsivaizduokime du rutulius A ir B, užtaisytus vienas + elektra, o antras — elektra (žiūr. 323 pieš.). Nuo + rutulio į — rutulį per mediumą, sakysime, per orą, tęsiasi Faraday'aus elektrinės jėgos linijos, ir tarp tų rutulių mes turime elektrostatinį jėgų lauką. Sujungsime dabar šituos du rutulius viela (žiūr. pirmą figūrą, tirštą liniją). Kadangi A yra augštesnio potencialo kaip B, tai tuojau ima tekėti elektros srovė iš A į B. Faraday'aus kalba tai reiškia,

kad + įlydžiai arba teigiami galai elektriškų linijų ima slinkti iš A į B, o neigiami galai tų linijų iš B į A. Toksai elektros linijų slinkimas, arba elektros srovė, sudaro magnetines jėgų linijas, kurios koncentriniais ratais apsupa vielą (žiūr. antrą fig.) jėgų linijų. Šiite koncentriniai ratai plečiasi, auga, kol elektros srovė vieloje pasieks maksimumą. Kitaip sakant, kol elektros jėgų linijos išnyks (arba kol + įlydžiai bus neutra lizuoti — įlydžiais, susitraukiant vieloje elektrinėms jėgų linijoms ligi nulio). Išnykus toms elektrinėms jegų linijoms ims nykti ir magnetinės jėgų linijos ir, joms nykstant, einant Faraday'aus magnetinės indukcijos dėsniu, vieloje susidarys indukcijos elektros srovė ta pačia prasme kaip buvo iš pradžios, vadinasi, iš A į B. Ta indukcijos srovė tęsis tol, kol išnyks magnetinės jėgų linijos. Bet ta indukcijos srovė užtaisys rutulį B teigiamai, o rutulį A neigiamai, ir mes pasieksime būklę, atvaizduotą trečia figūra, kuri bus apgręžta sulyginti su pirma figūra tuo vienok skirtumu, kad įlydžiai B ir A gali būti dabar mažesni kaip pirmoje figūroje todel, kad dalis elektros energijos bus išsk'aidyta šilimos pavidalu einant srovei per vielą ir dalinai bus išsklaidyta radiacijos pavidalu, apie kurią bus kalbama vėliau. Dabar elektros srovė eis iš B į A per vielą ir apie vielą susidarys magnetinis laukas priešingos krypties, kaip antroje figūroje (žiūr. ketvirtą figūrą). Vaizdas, kurį duoda šita figūra, atatinka kaip tik maksimumą atžagarinės srovės. Nykstant magnetiniam šitos figūros laukui mes turėsime



323 pieš.

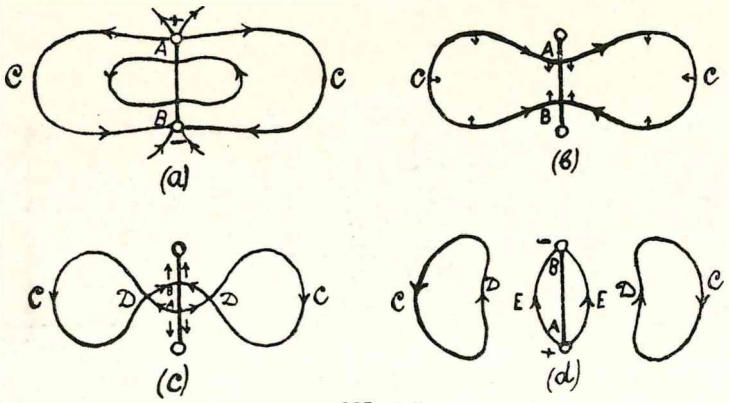
324 pieš.

vieloje tą pačią atžagarinę srovę, kuri dabar vėl užtaisys rutulį A teigiamai, o B neigiamai, ir mes vėl grįšime į būklę, kurią duoda pirmoji, figūra. Taigi, aišku, kad šituo atsitikimu mes turėsime elektros išlydį oscilacijomis. Vykstant tokiam išlydžiui energija bus tai formoje elektros lauko (potencinė), tai formoje magnetinio lauko (kintinė). Jeigu nebūtų energijos išsklaidymo arba jeigu energija nuolat būtų patiekiama iš kokio nors išorinio šaltinio, tai mes turėtume neslopinamų oscilacijų. Išreikšdami elektros įlydžių didumą nuosekliais laikotarpiais grafiškai mes gautumėm sinus liniją, kurią atvaizduoja 324 piešinys punktyru. Bet, jeigu energija išsklaidoma šilimos pavidalu, ir kaipo radiacija, tai mes tada turėsime slopinamų švytavimų, kuriuos atvaizduoja tirštai nupiešta tolydinė kreiva linija (žiūr. 324 pieš.). Šitų oscilacijų dažnumas gali svyruoti tarp 2.10^4 ir 3.10^8.

Kada orą arba kitą kokį dielektriką pramuša kibirkštis, tai, kaip jau žinoma, del ionizacijos oro, kibirkšties takas darosi elektros laidininku, vadinasi, gali vaidinti vaidmenį laidininko, jungiančio rutulius A ir B 323 piešinio. Taigi, prijungę tuos du rutulius prie išorinio ir išvidinio pamušalų Leydeno bonkos, mes turėsime, išsilydant bonkai, kibirkštį, t. y. eilę elektros oscilacijų, arba eilę variacijų elektrostatinio ir magnetinio laukų, panašių į tas variacijas, kurias atvaizduoja 323 piešinys. Potencinė energija elektrostatinio lauko tarp rutulių virsta čia kinetine energija magnetinio lauko, pastaroji virsta vėl potencine energija elektrostatinio lauko ir t. t., kol energija bus išsklaidyta. Taigi mes čia turime iš tikrųjų tą patį dalyką kaip bet kurios rūšies bangavime, būtent, nuoseklų pasikeitimą potencinės energijos kinetine, ir atbulai. Tai yra esminis pažymys bet kurios rūšies bangų. Todel vykstant elektros išlydžiui oscilacijomis ir aplamai veikiant kintamajai srovei, iš esmės galima kalbėti apie elektromagnetines bangas, kurios skleidžiasi erdvėje iš išlydžio vietos kaipo iš sąjūdžio židinio.

Vykstant elektros išlydžiui dielektrike, tiksliai kalbant, mes turime periodiškų variacijų dviejų dalykų: elektrinės jėgos arba elektrinio intensingumo ir magnetinio intensingumo. Todel elektromagnetinė banga visuomet susideda iš dviejų dalių: iš bangos elektrinės jėgos, kurios vibracijos vyksta išilgai laidininko, jungiančio rutulius A ir B (323 pieš.) arba išilgai kibirkšties (išlydžio linijos) ir iš bangos magnetinės jėgos, kurios vibracijos vyksta statmenai kibirkšties linijai arba statmenai laidininkui AB (žiūr. 323 pieš.). Vadinasi, elektromagnetinė banga visuomet susideda iš elektrinių ir magnetinių vibracijų kryptimis, kurios sudaro tiesų kampą. Abidvi tos bangos, elektrinė ir magnetinė, skleidžiasi erdvėje tuo pačiu greitumu, būtent, šviesos greitumu.

Kada bangos sklinda erdvėje, mes kalbame apie energijos sklidimą bangomis arba apie radiaciją. Vadinasi, elektros išlydis tarp dviejų rutulių, prijungtų prie Leydeno bonkos pamušalo arba prijungtų prie antrinių polių Rumkorfo induktoriaus, yra radiacijos išteklius. Bet, kada mes turime du kondensatoriaus pamušalus arti vienas nuo antro arba du rutulius, prijungtus prie induktoriaus antrinių polių arti vienas nuo antro, tai tokiu atveju gangreit visos elektros jėgų linijos randasi lauke tarp kondensatoriaus pamušalų arba tarp rutulių, ir labai maža tų jėgų eina nuo rutulio į rutulį arba nuo kondensatoriaus plokštelės į plokštelę per orą, išorėj tarpo, apibrėžto plokštelėmis arba rutuliais. Todel, vykstant tarp tokių plokštelių arba rutulių elektros išlydžiams, periodinės variacijos elektrinės ir magnetinės jėgų vyksta ypač tarp kondensatoriaus plokštelių arba rutulių ir jų labai maža pasklinda ore. Toki sistema vadinama uždarytu oscilacijų tinklu (arba ratu). Norint, kad išlydžio tinklas būtų ištekliu elektromagnetinių bangų išorėj to tinklo, reikia atatinkamai pakeisti išlydžio tinklo konstrukcija. Reikia paimti vadinamas atdaras išlydžio tinklas. Apie konstrukciją tokio tinklo mes kalbėsime kiek vėliau. Čia pažymėsime tik, kad tokio atdaro išlydžio tinklo ypatumas yra toks, kad elektros jėgų linijos yra smarkiai išsigaubę ir išeina iš išlydžio tinklo ribų. Vykstant išlydžiams tokiam tinkle erdvėje skleidžiasi elektromagnetinės bangos, arba radiacija.

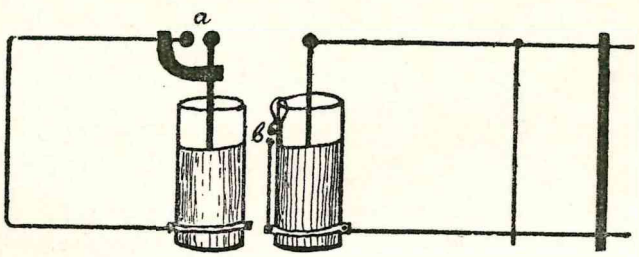


325 pieš.

Pasinaudosime 325 piešiniu, kad gautume geresnio supratimo, kaip susidaro tokia elektromagnetinė radiacija, pabrėždami, kad radiacijos procesas gali būti tinkamai ir visapusiškai aprašytas tik augštosios matematikos kalba ir kad toksai radiacijos proceso aprašymas yra Maxwell'io duotas. 325 piešinio figūra a atvaizduoja du rutuliukus A ir B, užtaisytus + ir — elektra ir sujungtus viela. Elektros jėgos linijos, einančios nuo + įlydžių į — įlydžius čia smarkiai išgaubtos (linijos ABCB ir BCA). Vadinasi, nurodyta prasme mes čia turime atdarą išlydžio tinklą (arba ratą). Aišku, kad elektros jėgos linijos visuomet atrodys taip, kada skirtumas potencialų tarp konduktoriaus AB galų bus labai didelis. Vietoj laidininko AB galima įsivaizduoti elektros kibirkštis, nes kibirkšties takas irgi yra geras elektros laidininkas. Tokiomis sąlygomis galai jėgų linijų slenka išilgai laidininko AB, kaip rodo figūra b, ir slenkant taip galai tų linijų ne tik susiduria, bet ir susikryžiuoja, kaip rodo fig. c, kol dalys jėgų linijų, pažymėtų raidėmis C, spės pasiekti laidininką AB. Tokiu būdu susidaro kilpos DC (žiūr. fig. c). Susikirtimo jėgų linijų taškai D yra labai nepastovūs, ir todel čionai jėgų linijos nutrūksta, sudarydamos uždarytas kilpas DC iš vienos ir iš antrosios laidininko pusės. Tuo pačiu laiku pasilieka prijungtos prie laidininko sutrumpintos jėgų linijos AEB (žiūr. fig. d).

Uždarytos kilpos DC skleidžiasi erdvėje, o dalis AEB tęsia toliau jau aprašytas oscilacijas. Kiekviena toki elektrinės jėgos kilpa turi savo magnetinį lauką statmenai kilpos plokštumai, ir, slenkant tai kilpai pirmyn, kartu su ja slenka ir magnetinis laukas. Duotas čia radiacijos susidarymo vaizdas yra labai netobulas, bet jis vis delto parodo dalyko esmę.

Tais samprotavimais vadavosi Henrichas Hertz'as sekdamas išlydžius oscilacijomis ir ieškodamas elektromagnetinių bangų. Iš pradžios Hertz'as tyrė elektros išlydžių indukcijos veikimus, o tik kiek vėliau, susipažinęs su paminėtomis anksčiau Fitz-Gerald'o mintimis, jis atsidėjęs ėmė ieškoti priemonių elektromagnetinėms bangoms įrodyti. Aišku, kad Hertz'as turėjo tai prieiti, nes esmės atžvilgiu elektros išlydžių indukcijos veikimai ir tos indukcijos sklidimas yra tas pats dalykas kaip ir elektromagnetinių bangų veikimas. Netenka kalbėti apie tai, kad Hertz'ui buvo žinoma Maxwell'io teorija. Bet ne pro šalį bus paminėti, kad dar anksčiau kaip Hertz'as visa eilė tyrinėtojų irgi sekė elektros išlydžių indukcijos veikimus ir konstatavo elektromagnetinių bangų faktą, bet patys nesuprato, ką jie surado. Pirmutinis tyrinėtojas, kuris aptiko elektromagnetinių bangų faktą, yra jau dusyk minėtas amerikietis Henry's, kurio mokslo veikaluose yra aprašytas toksai jo eksperimentas. Kambary, antrame augšte, Henry's varė elektros išlydžius su galinga elektros mašina, gaudamas gan ilgų kibirkščių. Rūsyje, 9 metr. žemiau, buvo pedėtas kitas tinklas, arba ratas, lygiagrečiai išlydžio ratui viršutiniam kambary. Tie du tinklai buvo izoliuoti vienas nuo antro. Ir vienok vykstant išlydžiams viršutiniam kambary tinklas rūsyje veikė magnetinę adatą ir įmagnetino plieno adatą. Aišku, kad mes čia turime Faraday'aus indukciją tarp dviejų tinklų dideliam atokume. Henry's atkreipė dėmesį į tai, kad abudu tinklai buvo toli vienas nuo antro ir atskirti dar 2 lubom ir 2 grindim, kiekviena storumo 35 cm. Jis manė, kad elektra, kaip koksai kontinumas, užpildo visą erdvę, nes vienos kibirkšties pakanka, kad būtų išjudinta elektra erdvėje 400.000 kubinių pėdų. Toliau, jo nuomone, efektas elektros kibirkšties pasiekia tokiu greitumu antrąjį tinklą, kad šito judėjimo išsiplėtimas galima sulyginti su šviesos išsiplėtimu. Šiandien nėra jokios abejonės, kad konstatuotas Henry's indukcijos veikimas skleidžiasi tuo pačiu greitumu kaip šviesos greitumas ir kad esmės atžvilgiu šviesos procesas ir elektromagnetinės indukcijos procesas yra tas pats dalykas. Bet mes žinome tai šiandien iš Maxwell'io, o Henry's savo eksperimentą yra atlikęs 1842 metais.

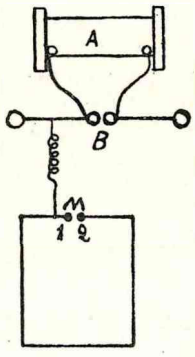


326 pieš.

Iš kitų tyrinėtojų paminėsime čionai sirą Oliverą Lodge'ą, kuris irgi sekė Leydeno bonkos išlydžių indukcijos veikimus tuo pačiu laiku kaip Hertz'as, pradėjęs tuos darbus kiek anksčiau, ir pirmutinis eksperimentais įrodė elektrinį rezonansą. 326 piešinys atvaizduoja Lodge'o paprastą aparatą elektriniam rezonansui demonstruoti. Mes čia turime dvi Leydeno bonkas. Pamušalai kairiosios bonkos prijungti prie Rumkorfo induktoriaus antrinių polių, taip kad per tarpą a tarp rutulių vyksta išlydis kibirkštimis. Periodas oscilacijų $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Dešinioji bonka tokio pat didumo kaip ir pirmoji ir, vadinasi, tokio pat talpumo C. Prie jos pamušalų prijungtos dvi ilgokos vielos, ištiestos lygiagrečiai. Išilgai tų vielų galima stumti į vieną arba į kitą pusę skersa viela, kaip rodo piešinys, ir tokiu būdu didinti arba mažinti tinkle saviindukciją antrosios bonkos L. Be to, prie išvidinio tos antrosios bonkos pamušalo ir prie išorinio prijungtos dvi užlenktos vielos, kurios baigiasi mažučiais rutuliukais su nedideliu tarpu b tarp jų (tarpas 1 — 2 m.m.). Keičiant antrosios bonkos tinklo saviindukciją L, kaip pasakyta, galima pasiekti, kad oscilacijų periodas tos antrosios bonkos pasidarys lygus

oscilacijų periodui pirmosios bonkos. Pasiekus tai ir vykstant išlydžiams kibirkštimis per pirmosios bonkos tarpą a, tarpe b irgi pasirodo kibirkštėlės. Efektas būna aiškesnis, jeigu išlydžio tinklai pirmosios ir antrosios bonkų pastatomi lygiagrečiai. Antroji bonka čia atsiliepia į oscilacijas pirmosios bonkos visiškai taip, kaip turint du kamertonus to paties tono ir sudavus vieną kamertoną ima skambėti ir antrasis. Lodge'as yra atlikęs visą eilę panašių eksperimentu, gavo aiškių efektų ir vienok nesugebėjo padaryti iš šitų eksperimentų galutinių išvadų, nepaisant to, kad puikiai buvo susipažinęs su Maxwell'io teorija. Taigi pirmenybė kaipo išradėjui elektromagnetinių bangų reikia pripažinti fizikos profesoriui Bonne universiteto Henrichui Hertz'ui, kuris darbavosi šitais klausimais nuo 1886 metų ir paskelbė savo darbo vaisius 1888 metais.

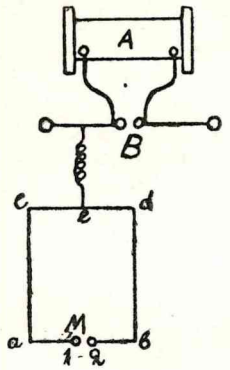
Pirmieji Hertz'o darbai šitoje srityje liečia santykius tarp elektros oscilacijų ir saviindukcijos. Taip tie darbai ir pavadinti: „Elektros oscilacijos ir elektromagnetinės indukcijos sklidimas". Hertz'ui buvo žinomas faktas, kad prijungus lygiagrečiai su iškrovikliu (dviem rutuliais su tarpu) prie antrinių polių induktoriaus Riesso kibirkščių mikrometrą (2 rutuliukus, kuriuos galima mikrometriniu sraigtu tolinti arba artinti vienas nuo antro) ir, be to, sujungus dar tuos rutuliukus ilga viela, veikiant induktoriui, tarp Riesso mikrometro rutuliukų šoka kibirštėlės. Vadinasi, išlydis, užuot ėjęs per vielą, pasirenka sau didesnio pasipriešinimo kelią, būtent pro tarpą Riesso rutuliukų. Trumpinant vielą, jungiančią Riesso rutuliukus, kibirkštėlės tarp tų rutuliukų neišnyksta. Kad galėtų susidaryti tokios kibirkštėlės nors ir milimetro trupmenos ilgio, reikalingas tarp Riesso rutuliukų potencialų skirtumas bent keletą šimtų voltų ir, vadinasi, toksai potencialų skirtumas susidaro net ir tada, kada jungianti Riesso rutuliukus viela yra labai trumpa, vadinasi, turi labai mažą varžą. Taigi iš šito fakto Hertz'as padarė išvadą, kad čia vielos saviindukcija yra priežastimi didelio potencialų skirtumo ir kad trumpos vielos saviindukcija yra didelė tik todel, kad tinkle įvyksta labai greitos elektros oscilacijos. Kitaip sakant, panašūs santykiai bus visuomet tada, kada bus impulsyvis išlydis, kuris jau minėtas anksčiau.



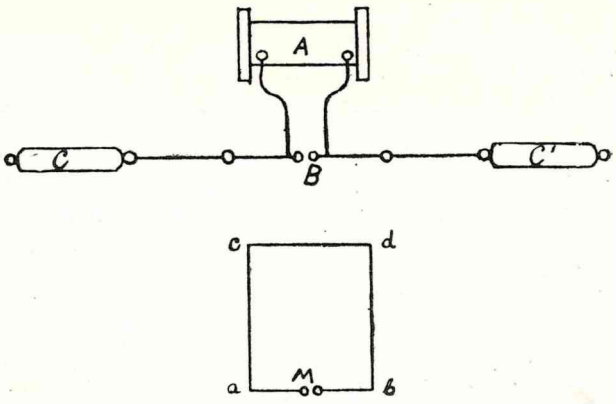
327 pieš.

327 piešinys atvaizduoja Hertz'o aparatą patikrinti padarytoms išvadoms. Mes čia turime gan galingą Rumkorfo induktorių A, prie kurio antrinių polių prijungtos dvi storos vielos su tarpu B tarp jų. Galai vielų šitame tarpe aprūpinti rutuliukais, Tai yra induktoriaus iškroviklis. Prie vienos iš tų vielų prijungtas, kaip rodo piešinys, keturkampis iš vielos M irgi su nedideliu tarpu tarp dviejų mažučių rutuliukų 1, 2. Mikrometriniu sraigtu galima tie rutuliukai artinti vienas prie antro arba tolinti vienas nuo antro. Taigi, šitas vielos keturkampis vaidina tokį pat vaidmenį kaip paminėtas Riesso kibirkščių mikrometras (prietaisas kibirkščių ilgiams matuoti). Turint nurodytą čia sujungimą ir veikiant induktoriui pro tarpą 1, 2 šoka kibirkštėlės, kai kada keleto m.m. ilgio. Taigi, aišku, kad čia mes turime smarkių elektrinių oscilacijų ne tik induktoriaus antriniame tinkle, bet ir tinkle arba laidininke, kuris yra kontakte su tuo antriniu tinklu. Be to, šitas eksperimentas rodo, kad greitumas oscilacijų galima sulyginti su tuo greitumu, kuriuo skleidžiasi elektros sąjūdžiai per vielą ir kuris, kaip žinoma, maža tesiskiria nuo šviesos greitumo. Hertz'as šituo aparatu konstatavo, kad mikrometro medžiaga (vielos keturkampio) jo varža, vielos ilgis ir diametras turi labai maža įtakos mikrometro kibirkštėlėms. Vadinasi, potencialo variacijos nepareina čia nuo varžos. To ir galima buvo laukti, nes greitumas, kuriuo skleidžiasi elektriškas sąjūdis per laidininką, kaip mes žinome, visų pirma priklauso nuo to laidininko saviindukcijos ir talpumo ir labai mažai priklauso nuo jo varžos. Kai del mikrometro vielos ilgio, tai jeigu tas ilgis ne didesnis kaip keli metrai — nėra jokios įtakos vielos ilgio kibirkštėlėms. Bet turi didelės reikšmės padėtis to taško mikrometrinio keturkampio, kuris prijungiamas prie antrinio induktoriaus tinklo. To galima buvo laukti iš anksto, nes prijungus prie antrinio induktoriaus tinklo tokį keturkampio M tašką, kuris užima simetrišką padėtį mikrometro rutuliukų atžvilgiu, potencialo variacijos pasiekia tuos rutuliukus toje pačioje fazėje. Vadinasi, tada nesusidaro potencialų skirtumo tarp mikrometro rutuliukų ir todel ne-

bėra kibirkščių. 328 piešinys atvaizduoja kaip tik tokį sujungimą. Čia taškas e keturkampio M, kuris prijungiamas prie antrinio induktoriaus tinklo, užima vidurį keturkampio šono cd, taip kad keliai nuo šito taško ligi rutuliukų 1, 2 yra vienodi, ir todel potencialo variacijos pasiekia šituos rutuliukus toje pačioje fazėje. Tuo tarpu kombinacijoje, kurią atvaizduoja 327 piešinys, kelias nuo prijungimo taško ligi rutuliuko 2 yra žymiai didesnis kaip ligi rutuliuko 1, ir todel potencialų variacijos pasiekia tuos rutuliukus įvairiose fazėse ir susidaro potencialų skirtumas pakankamas tam, kad tarpas tarp rutuliukų 1, 2 būtų pramuštas kibirkštėle. Be to, aprašyti čia elektromagnetinės indukcijos fenomenai pareina nuo induktoriaus iškroviklio kibirkščių. Taip mikrometrinės kibirštėlės žymiai silpnėja, kada induktoriaus iškroviklis sudarytas ne dviem rutuliukais, bet dviem smailgaliais arba vienu smailgaliu ir disku. Taip pat mikrometrinės kibirkštėlės silpnėja, kada antrinis išlydis vyksta praskiestose dujose ir, pagaliau, kada induktoriaus kibirkštis darosi trumpesnė kaip 0,5 cm. Antra vertus, kada induktoriaus kibirkštis buvo didesnė kaip 1,5 cm., mikrometrinės kibirkštėlės visiškai išnyko. Iš to aišku, kad čia neturi jokios reikšmės elektrostatinė indukcija, nes didėjant tarpui B potencialų skirtumos didėja ir turi didėti elektrostatinė indukcija, o vienok mikrometrinės kibirkštėlės išnyksta. Aplamai, visų geriausių rezultatų Hertz'as gavo, kada induktoriaus kibirkštis buvo apie 1 cm. ir kada tos kibirkštys buvo skaidriai baltos švie-



328 pieš.



329 pieš.

sos tiesia linija ir duodavo griežto traškėjimo. Savaime suprantama, kad padidinus tarpą B tiek, kad per jį nebešoka kibirkštys, nebebūna ir mikrometrinių kibirkštėlių. Pridursime čia dar, kad šituose eksperimentuose Hertz'as vartojo vario vielą 2 m.m. diametro ir ilgio nuo $^1/_2$ metro ligi 1 metro prie platumo keturkampio apie 80 cm.

Grįžtant prie 328 piešinio, mikrometrinės kibirkštėlės pasirodo tuojau, jeigu truputį pastumiama į vieną ar į kitą pusę kontakto vietą e, ir darosi visų ilgiausios, pasiekdamos 4 — 5 m/m., kada prie induktoriaus antrinio tinklo prijungiama taškas a arba taškas b. Taip pat esant kontaktui vietoje e kibirkštėlės tuojau pasirodo, jeigu prie vieno iš rutuliukų M prijungiamas laidininkas. Aišku, kad toksai laidininko prijungimas neturi jokios įtakos laikui, reikalingam tam, kad sąjūdis iš taško e pasiektų rutuliukus 1, 2. Bet tai keičia talpumą vienos dalies keturkampio abcd ir, vadinasi, keičia tos dalies oscilacijų periodą, taip kad dabar oscilacijos dalyse eca ir edb skiriasi periodais ir todel potencialų variacijos pasiekia rutuliukus 1, 2 įvairiose fazėse. Taigi, aišku, kad paėmę konduktorių didesnio talpumo ir pridėję jį prie vieno iš rutuliukų M, mes gausime daug stipresnių kibirkštėlių. Antra vertus, tos kibirkštėlės tuojau išnyktų, jeigu tokį pat konduktorių pridėtume ir prie antro rutuliuko. Taigi, šitais eksperimentais Hertz'as įrodė didelę reikšmę talpumo ir saviindukcijos elektros oscilacijoms ir jų efektams.

Aprašyti indukcijos fenomenai liečia uždarytus tinklus. 329 piešinys atvaizduoja vieną Hertz'o aparatų, kuriuo jis sekė elektromagnetinės indukcijos fenomenus atdaruose

tinkluose ore, kada nebuvo jokio metališko sujungimo tarp tokių dviejų tinklų. Čia mes turime vėl galingą Rumkorfo induktorių A, prie kurio antrinių polių prijungtos dvi storos vielos su tarpu B tarp jų. Tų vielų galai tarpe aprūpinti rutuliukais. Ant kitų galų vielų užmauti metaliniai cilinderiai C C', atokume 3 metrų vienas nuo antro. Storumas vielos tarp jų 2 m/m. Kibirkščių mikrometras abcd čia irgi turi keturkampio pavidalą iš vario vielos. Šonas cd = ab = 80 cm., o šonas ca = bd = 120 cm. Padėjus šitą kibirkščių mikrometrą M šonu cd lygiagrečiai laidininkui CBC' tarpe M šoka kibirkštys ligi 2 m/m, jeigu atokumas tarp cd ir CBC' yra tik $^1/_2$ metro. Didinant šitą atokumą kibirkštėlės tarpe M mažėja, bet jos yra tame tarpe, kol bus pasiektas atokumas 1,5 metro tarp cd ir CBC'. Čia jau mes turime tikras elektromagnetines bangas mediume tarp induktoriaus antrinio tinklo CBC' ir kibirkščių mikrometro tinklo. Cilinderiai CC' čionai reikalingi tam, kad atatinkamai būtų padidintas talpumas induktoriaus antrinio tinklo ir tokiu būdu būtų gaunamos oscilacijos didesnių masių elektros. Atsistojus žmogui tarp laidininko CBC' ir cd, kibirkštėlės tęsiasi. Taip pat jos tęsiasi padėjus tarp CBC' ir cd stiklą, medį ir, aplamai, kokį nors dielektriką. Bet padėjus vertikaliai lapą skardos arba kito kokio metalo (laidininko) kibirkštėlės tarpe M tuojau išnyksta. Kad čia efektas pareina nuo tiesialinio laidininko CBC', išeina iš to, kad kibirkštėlės tarpe M tuojau išnyksta pašalinus vieną arba antrą to laidininko pusę arba pagaliau abidvi to laidininko puses. Taip pat kibirkštėlės tarpe M išnyksta, padidinus tarpą B induktoriaus iškroviklio tiek, kad tame tarpe išnyktų kibirkštys. Taigi, ir iš to aišku, kad efektas laidininke acdb nepareina nuo elektrostatiško potencialo skirtumų laidininkų C ir C', nes didinant tarpą B potencialų skirtumas laidininkų C ir C' didėja.

Iš aprašytų čia eksperimentų matyti, kad indukcijos efektai išnyksta, jeigu del varžos padidinimo arba del kokių kitų priežasčių sustoja elektros oscilacijos. Kad gautume aprašytus čia efektus, turime išpildyti šias sąlygas: 1) reikia turėti galingas induktorius, kad galima būtų užtaisyti laidininkai antrinio tinklo ligi augšto potencialo; 2) išlydis turi būti impulsyvis, ir 3) reikia atatinkamai sumažinti varža ir kibirkščių tarpą, kad elektros išlydis vyktų oscilacijomis, kitaip sakant, kad būtų kintamoji srovė labai didelio dažnumo. Šitos sąlygos atatinka anksčiau paminėtą atdarą oscilacijų tinklą.

Kaip skambąs kūnas gali sudaryti skambėjimą kitų kūnų apylinkoje net tada, kada tų kitų kūnų vibracijų periodas skiriasi nuo periodo skambančio kūno, taip pat ir elektros oscilacijos laidininke CBC sudaro oscilacijas laidininke acdb (žiūr. 329 pieš.) net ir tada, kada to laidininko periodas skiriasi nuo periodo laidininko CBD. Tada mes turėsime priverstinų oscilacijų ir atatinkamai silpną efektą. Taigi, Hertz'as manosi ir elektrišku rezonansu, parinkdamas talpumą ir saviindukciją laidininko acdb taip, kad jo oscilacijų periodas būtų lygus laidininko CBC[1] periodui. Tokiu būdu Hertz'as gauna vadinamas simpatetiškas oscilacijas arba rezonansą (apie priverstinas oscilacijas ir simpatetiškas oscilacijas žiūr. „Bangų mokslo" 2 §). Laidininkas, sujungtas su induktoriaus antriniu tinklu, vadinasi Hertz'o oscilatorius arba vibratorius, arba radiatorius, nes jis leidžia energiją bangomis. O laidininkas, kuris atsiliepia į tas bangas (arba laidininkų tinklas), vadinasi rezonatorius. 329 piešinys atvaizduoja vieną iš formų Hertz'o rezonatoriaus ir radiatoriaus. Bet Hertz'as vartojo ir kitų formų. Pavyzdžiui, dažnai Hertz'o radiatorius turi formą storos vielos arba stiebo su tarpu per jo vidurį ir su dviem rutuliais arba su dviem metalinėmis plokštimis ant tų vielų galų. Toksai radiatorius yra atdara sistema, kaip anksčiau paaiškinta, nes čia jėgų linijų laukas smarkiai, taip sakant, išsikiša iš laidininkais apibrėžtų ribų ir todel, prasidėjus elektros oscilacijoms, tokiam lauke elektromagnetinės bangos skleisis į pryšakį ir į užpakalį. Hertz'o rezonatorius dažnai turi formą rato iš storesnės vielos su nedideliu tarpu. Ant galų vielos tame tarpe užmauti mažučiai rutuliukai, ir tas tarpas retai būna didesnis kaip 1 m/m. Įvairiais variantais savo radiatorių ir osciliatorių Hertz'as įrodė elektriško rezonanso buvimą gan dideliais atokumais, žymiai didesniais, kaip rezonansas tarp dviejų Leydeno bonkų Lodge'o eksperimente (žiūr. 326 piešinys), kuris paminėtas anksčiau.

Rezonanso apsireiškimai yra vienas iš charakteringų pažymių bangavimo. Taigi, toliau Hertz'o buvo įrodyti kiti bangavimo pažymiai, kaip bangų refleksija, inter-

ferencija, stovinčios bangos, bangų refrakcija ir polarizacija, elektromagnetinės indukcijos fenomenams, sąryšy su elektrinėmis oscilacijomis. Bet svarbu buvo visų pirma padirbti tokio didumo oscilatoriai arba radiatoriai, kad jų leidžiamos elektromagnetinės bangos būtų ne per ilgos ir, vadinasi, kad tos bangos galima būtų sekti laboratorijoje. Pavyzdžiui, 9 § paminėti Fedderseno eksperimentai, kuriais buvo konstatuotos elektrinės oscilacijos dažnumo apie milijoną ir daugiau sykių per sekundą. Vadinasi, tokių oscilacijų periodas T sudaro 10^{-6} sekundų. Taigi, einant bendra lygtimi $vT = \lambda$, tokių oscilacijų bangų ilgis $\lambda = 10^{-6}. 3.10^{10} = 3.10^4$ cm. = 300 mtr. (bendroje formuloje v re.škia šviesos greitumą). Aišku, kad sekti laboratorijoje bangų, ilgesnių kaip $^1/_4$ kilometro, ilgio negalima, ir todel, remiantis bendromis formulomis:

$$T = \frac{2\pi}{v}\sqrt{LC} \text{ ir } vT = \lambda = 2\pi\sqrt{CL}$$

(čia v vėl reiškia šviesos greitumą 3.10^{10} cm., kuris dydis įeina į formulą tada, kada sistemos elektros talpumas C ir saviindukcija L išreiškiami tais pačiais absoliutiniais elektromagnetiniais vienetais), Hertz'as suteikė savo oscilatoriams atatinkamų išmatavimų, kad gautų bangų ilgių apie 1 metrą ir mažiau. Imant pavyzdžiu vieną jo oscilatorių, kuris visiškai panašus į oscilatorių 329 piešiny, pakeitus tik cilinderius - konduktorius C ir C' rutuliais diametro 15 cm., pasinaudosime to oscilatoriaus išmatavimais, kad apskaitytume jo leidžiamų elektromagnetinių bangų ilgį. Vielos ilgis su tarpu per jos vidurį, ant kurios galų buvo užmauti tušti rutuliai, buvo $l = 150$ cm., ir jos diametras $d = 0{,}5$ cm. Apskaitydami saviindukcijos koeficientą L pasinaudosime Neumano formula.

$$L = 2l\left(\ln\frac{4l}{d} - 0{,}75\right) = 300\left(\ln\frac{600}{0{,}5} - 0{,}75\right) = 1902 \text{ cm.}$$

Rutulio elektrostatinis talpumas, kaip mes žinome, yra lygus jo stipinui. Taigi, šituo atveju $C = 7{,}5$ cm. Vadinasi, mes čia turime bangas ilgio

$$\lambda = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{1902.7{,}5} = 747 \text{ cm.}$$

Šitoje formuloje C ir L išreikšti tais pačiais vienetais, būtent, centimetrais, ir todel v čia nefigūruoja. Taigi tokias bangas jau galime sekti laboratorijoje. Tų bangų dažnumas yra lygus $\frac{v}{\lambda} = \frac{3.10^{10}}{747} = 12.10^7$, t. y. apie šimtą milijonų sykių per sekundą. Kitaip sakant, periodas oscilacijų šituo atveju yra apie vieną šimtas milijoninę dalį sekundos. Remiantis duota formula ir atatinkamai mažinant saviindukcijos koeficientą L ir talpumą C galima gauti dar trumpesnių ir, vadinasi, dar didesnių dažnumų bangų. Hertz'ui pačiam pasisekė gauti bangų 60 cm. ilgio, o vėliau su Hertz'o oscilatoriais atatinkamų išmatavimų buvo gauta bangų 7,5 cm. ilgio ir net 0,6 cm. ilgio. Paskutinės bangos turi dažnumą iš formulos $n = \frac{v}{\lambda} = \frac{3.10^{10}}{0{,}6} = 5.10^{10}$, žodžiu, 50 bilijonų sykių per sekundą.

Gavęs pakankamai trumpų bangų, Hertz'as atliko visą eilę bandymų su elektromagnetinių bangų refleksija ir polarizacija. Norėdamas tiesioginiu būdu išmatuoti elektromagnetinių bangų ilgį, jis sudarė stovinčias bangas. Radiatorius, panašus į atvaizduotą 329 piešiniu, buvo pastatytas ties metaliniu ekranu tam tikram atokume ir taip, kad išlydžio kibirkštys būtų vertikalėje plotmėje. Elektromagnetinės bangos pasiekia metalinį ekraną, atsimuša nuo jo, žengiančios į priekį ir atmuštos bangos superponuojasi ir interferuoja ir duoda žinomų jau mums stovinčių bangų (žiūr. „Bangų Mokslo" 4 §, 36—38 pusl.). Paėmęs rezonatorių rato pavidalu su nedideliu kibirkščių tarpu Hertz'as konstatavo tame rezonatoriuje kibirkštėles antimazgų vietose ir išnykimą kibirkštėlių mazgų vietose. Charakteringa, kad rezonatorius duoda kibirkštėlių tik tada, kada jis pastatytas taip, jog kibirkšties tarpas randasi ant galo gulsčio

diametro, ir visiškai neduoda kibirkščių, kada rezonatorius pastatytas taip, kad kibirkšties tarpas randasi ant galo vertikalinio diametro. Pastaruoju atveju elektrinės osciliacijos, išeinančios iš oscilatoriaus kibirkšties tarpo, vienodai veikia abi puses rezonatoriaus rato. Tuo tarpu pirmuoju atveju vieną pusę rezonatoriaus veikia oscilacijos, išeinančios iš oscilatoriaus kibirkščių, o antrą pusę su kibirkšties tarpu tos pačios oscilacijos veikia ne taip, kaip pirmą pusę del priežasties tarpo, ir todel šituo atveju tarpe susidaro potencialų skirtumas ir pasirodo kibirkštėlės. Šitais eksperimentais įrodyta, kad elektrinės oscilacijos yra skersos oscilacijos statmenai linijai, kuria jos skleidžiasi, ir lygiagrečiai kibirkštės linijai, vadinasi, statmenai elektriniam spinduliui. Bet kartu su elektrinėmis oscilacijomis vertikalėje plotmėje mes čia turime magnetinių oscilacijų gulsčioje plotmėje (statmenai elektrinėms oscilacijoms ir statmenai elektriniam spinduliui). Šitas magnetines oscilacijas Hertz'as įrodė irgi tuo pačiu rezonatoriumi, pastatęs jį vienok taip, kad jo plokštuma būtų išilgai elektrinio spindulio (vadinasi, kad magnetinės oscilacijos būtų statmenai rezonatoriaus plokštumai). Įrodant elektrines oscilacijas rezonatorius reikia pastatyti taip, kad jo plokštuma sudarytų tiesų kampą su elektriniu spinduliu (vadinasi, su linija, kuria skleidžiasi elektrinės oscilacijos). Taigi, tokiu būdu buvo įrodyta, kad elektromagnetinė banga susideda iš elektrinių ir magnetinių oscilacijų statmenai vienos antrosioms, vadinasi, buvo įrodyta, kad elektromagnetinė banga, kaip ir šviesos banga, yra skersa banga. Kur tos bangos pasiekia metalinį ekraną ir atsimuša nuo jo, ten susidaro mazgai, ir rezonatorius rodo minimum efektą mazguose tam tikruose atokumuose nuo ekrano. Šitie atokumai galima išmatuoti (nuo mazgo ligi mazgo, arba nuo antimazgo ligi antimazgo) ir tokiu būdu surasti pusė bangos ilgio ir, vadinasi, bangos ilgis. Taigi, tokiu būdu galima patikrinti, ar apskaitytas bangos ilgis iš formulos atatinka išmatuotą bangos ilgį. Tai buvo Hertz'o konstatuota ir tokiu būdu įrodyta, kad elektromagnetinės bangos skleidžiasi ore tokiu pat greitumu kaip ir šviesos bangos.

Anksčiau buvo kalbama apie stovinčias elektromagnetines bangas ore. Bet tokių bangų galima gauti ir vielose. Pasinaudosime vėl oscilatoriumi 329 piešinio, pakeitę jame cilinderius C ir C' dviem metalinėmis plokštumomis. Ties tomis plokštumomis arti nuo jų pastatysime dvi tokias pat plokštumas ir nuo tų plokštumų ištiesime lygiagrečiai dvi varines vielas. Tarpe tarp tų vielų su pagalba Hertz'o rezonatoriaus rato pavidalu tam tikruose atokumuose mes gausime kibirkštėlių. Tai bus antimazgai stovinčių bangų. Bet pasirodo, kad ilgis tų stovinčių bangų pareina nuo mediumo, kuriame randasi dvi vielos, būtent, yra propocingas kvadratinei šakniai iš to mediumo dielektrinės konstantos. Taigi, tokiu būdu nuomonė Faraday'aus, kad elektromagnetiniai fenomenai reiškiasi dielektrikuose ir kad laidininkai tik nustato tiems fenomenams ribas, pasitvirtino. Vadinasi, elektromagnetinis sąjūdis šliaužia tik paviršium laidininko, atsimuša nuo laidininko galų ir tokiu būdu sudaro stovinčias bangas. Jeigu dvi tokias vielas įlydytume į ilgą vamzdį ir iš to vamzdžio evakuotume orą, tai mes turėtume aparatą, visiškai panašų į Kundto vamzdį (žiūr. „Garso" 5 §). Ypatingai smarki reakcija tarp ionų bus antimazguose, ir todel tie antimazgai smarkiai švies, tuo tarpu mazgai bus tamsesni.

Paėmus prizmas iš parafino, ebonito, dervos ir t. t., galima sekti užlūžimą elektromagnetinių bangų ir nustatyti joms lūžimo koeficientą. Panašiais eksperimentais galima konstatuoti, kad visi dielektrikai, medis, popierius, žmogaus ir gyvulių kūnas, plytos, pereinami elektromagnetinėms bangoms. Tuo tarpu metalai nepereinami.

Padėję oscilatorių fokinėje linijoje gaubto paraboliško metalinio veidrodžio, mes gausime lygiagrečių elektrinių spindulių pluoštą. Pastačius prieš šitą veidrodį kitą tokį pat veidrodį, tik su rezonatorium fokinėje linijoje, galima bus su pagalba tokių dviejų veidrodžių irgi sekti visi aprašytieji fenomenai refleksijos, refrakcijos, prasiskverbimo elektromagnetinių bangų pro įvairią medžiagą ir t. t. Pastačius tarp tų veidrodžių metalinį ekraną rezonatorius neveiks. Paimsime didesnį tinklą, sudarytą iš lygiagrečiai ištemptų rėmuose vario vielų su tarpais tarp tų vielų. Pastačius šitą tinklą tarp abiejų veidrodžių taip, kad elektrinės oscilacijos būtų statmenai vieloms, rezonatorius veikia (per jo tarpą eina išlydžiai kibirkštimis). O pastačius tą patį tinklą tarp veidrodžių

taip, kad vielos būtų lygiagrečiai oscilatoriaus kibirkštims (arba veidrodžio fokinei linijai) rezonatorius antram veidrodyje neveikia. Vadinasi, pro taip pastatytą vielos tinklą elektriniai spinduliai nepraeina. Tai irgi rodo, kad elektromagnetinės bangos yra skersos bangos, polarizuotos tam tikroje plokštumoje, ir vielos tinklo eksperimentas visiškai yra panašus į turmalino plokštelės eksperimentus (žiūr. „Sviesos" 14 §, 216—217 pusl.). Tiktai jau čia nebegali būti jokios abejonės del polarizacijos plokštumos, nes elektromagnetinė banga susideda iš elektrinių oscilacijų išilgai kibirkšties ir magnetinių oscilacijų statmenai tai krypčiai. Bet abidvi tos oscilacijos statmeniškos spinduliui arba linijai, kuria skleidžiasi elektromagnetinė banga.

Taigi Hertz'as įrodė, kad elektromagnetinės bangos reiškia visus tuos fenomenus, kaip ir šviesos bangos, ir skleidžiasi vakuume ir ore tuo pačiu šviesos greitumu. Vadinasi, ir į šviesos bangas reikia žiūrėti kaipo į elektromagnetines bangas, kurias leidžia radiatoriai, panašūs į Hertz'o radiatorius, tik atominių išmatavimų. Apytikriai natrio geltonos linijos banga yra lygi 0,00006 cm. Vadinasi, $2\pi \sqrt{LC} = 0{,}00006$, iš to: $\sqrt{LC} = 10^{-5}$ cm., arba $LC = 10^{-10}$ cm. Taigi, mes tokiu būdu prieiname atominius išmatavimus, nes atomo diametras vidutiniškai yra lygus 10^{-8} cm. Iš to galima padaryti tokia išvada, kad matomos šviesos bangos sudaromos oscilatoriais arba radiatoriais dar mažesnių išmatavimų kaip atomai. Kraštutinė infra - raudona linija (tamsūs šilimos spinduliai) turi bangos ilgį 300 μ, arba 3.10^{-2} cm. Taigi tai linijai $LC = 25.10^{-6}$. Tai būtų jau molekuliniai išmatavimai. Jau senai buvo spėjama, kad tamsios (infra - raudonos) šilimos bangos sudaromos molekulų ir atomų virpėjimais, žinant, kad šitų šilimos bangų išmatavimai yra tokio pat didumo, kaip atomų ir molekulų išmatavimai. Bet del matomos šviesos bangų ir del ultra - violetinių bangų buvo spėjama, kad tos bangos sudaromos virpėjimais mažesnių padarų kaip atomas, virpėjimais tam tikros atomų dalies. Šitie spėjimai pasitvirtino 1896 metais. Olandų fizikas Zeemanas surado tai, ko ieškojo Faraday'us dar 1845 metais, būtent, surado sudvigubinimą ir sutrigubinimą matomų spektro linijų magnetinio lauko įtakoje. Padėjus tarp polių stipraus elektromagneto, sakysime, natrio liepsną, ir žiūrint į tą liepsną pro spektroskopą mes su didelės aikštinamos galios spektroskopu pamatysime dvi geltonas natrio linijas labai arti viena nuo antros. Paleidę srovę per elektromagneto vingius ir sudarę stiprų magnetinį lauką, mes pamatysime keturias linijas (iš kiekvienos linijos pasidarys dvi, viena bus kiek palinkusi į raudoną spektro pusę, o antra į violetinę), jeigu nustatysime spektroskopo žiūroną išilgai magnetinio lauko. O nustatę spektroskopą skersai magnetinio lauko pamatysime šešias linijas (kiekviena linija persiskirs į tris). Be to, Zeemanas konstatavo, kad žiūrint išilgai magnetinio lauko abidvi linijos polarizuotos cirkulariškai ir priešingomis kryptimis, o žiūrint skersai magnetinio lauko visos trys linijos atrodo polarizuotos linijomis. Aprašytas čia efektas žinomas nuo laiko jo išradimo kaipo Zeemano efektas. Šviesa, kurią duoda natrio liepsna, yra sudėta iš vibracijų statmeniškai spinduliui, bet šitų vibracijų kryptis nuolat kinta. Vibracijos bet kuria kryptimi galima išsklaidyti išilgai magnetinio lauko ir statmenai magnetiniam laukui. Vibracijos išilgai magnetinio lauko nebus pakeistos magnetiniu lauku. Tuo tarpu vibracijos statmenai magnetinio lauko bus pakeistos dviem vibracijom priešingų krypčių ratais, nelyginant kaip einant polarizuotam šviesos spinduliui pro kvarco kristalą. Taigi cirkularinės vibracijos ta prasme, kaip eina srovė elektromagneto vingiais, bus elektromagnetinės jėgos pagreitintos, o cirkularinės vibracijos, kurios vyksta priešingai srovei per elektromagneto vingius, tiek pat bus sutrukdytos. Todel įtakoje magnetinio lauko susidarys du spinduliai skirtingo vibracijų periodo, arba dažnumo. Taigi, aišku, kad užuot pasirodžius vienai linijai mums pasirodys dvi linijos: viena didesnio dažnumo, kaip normalinė linija neveikiant magnetiniam laukui, o antra mažesnio dažnumo. Žiūrėdami išilgai magnetinio lauko mes trečios linijos nepamatysime todel, kad vibracijos išilgai magnetinių jėgų linijų bus išilgai matymo linijos, o žiūrint skersai magnetinio lauko veiks mūsų akį ir vibracijos išilgai magnetinio lauko, nes jos bus tada statmeniškos matymo linijai (žiūr. „Šviesos" 15 §, 251 pusl.).

1896 metais, kada buvo konstatuotas Zeemano efektas, buvo jau žinomi Röntgeno spinduliai ir buvo žinoma, kad tie spinduliai susidaro visuomet, kada į medžiagą suduoda katodo spinduliai arba neigiamos elektros dalelės. Taip pat buvo jau paskelbti garsūs J. Thomsono eksperimentai, kuriais jis nustatė šitoms neigiamoms dalelėms arba korpuskulams elektrocheminį ekvivalentą e/m. Šitos dalelės buvo vėliau pavadintos elektronais ir apie jas mes kalbėsime smulkiau kitame paragrafe. Antra vertus, magnetinis laukas keičia judėjimo kryptį įelektrintoms dalelėms, ir iš to, į kurią pusę elektromagnetinė jėga atlenkia įelektrintas daleles, galima spręsti, ar tos dalelės teigiamos ar neigiamos. Iš Zeemano bandymų ir iš polarizacijos krypties įtakoje magnetinio lauko kitas Olandų fizikas, garsus Lorentz'as, padarė išvadą, kad šviesa sudaroma virpėjimais neigiamai įelektrintų dalelių ir sakė, kad tos dalelės yra ne kas kita, kaip elektronai. Tokią hipotezę Lorentz'as padarė dar todel, kad, aplamai, buvo pamato manyti, kad tarp šviesos ir neigiamai įelektrintų dalelių veikia intimiški santykiai. Röntgeno spinduliai susidaro, kada neigiamos dalelės bombarduoja medžiagą. Antra vertus, veikiant Röntgeno spinduliams medžiagą, ji leidžia neigiamų dalelių. Taip pat veikiant šviesai, o ypatingai ultra-violetiniams spinduliams kai kuriuos metalus, tie metalai leidžia neigiamų dalelių, arba elektronų. Yra dar ir kitų fotoelektriškų fenomenų.

Taigi remdamasis tokiais samprotavimais ir tiesioginiais nurodymais Zeemano bandymų, Lorentz'as tvirtino, kad matomų kaipo šviesa elektromagnetinių bangų priežastis yra virpėjimai elektronų, ir davė Zeemano efekto matematinę analizę, kurią mes čia atkartosime elementarine forma. Taigi, mes turime du elektronus, kurie sukasi ratais, bet priešingomis kryptimis. Neveikiant magnetiniam laukui elektronas ant savo orbitos yra įtakoje dviejų jėgų, centrinės ir išcentrinės. Aplamai, kada mes turime darbo su vibracijomis arba virpėjimais, veikianti jėga visuomet yra proporcinga atsilenkimui dalelės nuo pusiausvyros būklės. Taigi sukantis elektronui ratu ta jėga yra proporcinga rato stipinui, ir mes turime $f = kr$. Bet tuo pačiu laiku toksai elektronas yra įtakoje išcentrinės jėgos $\frac{mv^2}{r}$, jeigu mes pažymėsime elektrono masę raide m ir jo greitumą raide v. Greitumas $v = \frac{2\pi r}{T}$. Čia T — elektrono periodas. Pasiliekant elektronui ant orbitos šitos dvi jėgos balansuoja viena antrą, ir mes turime $kr = \frac{mv^2}{r} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$, iš čia $k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$. Veikiant magnetiniam laukui elektronas yra dar įtakoje elektromagnetinės jėgos, kuri veikia statmenai rato stipinui ir rato liečiamajai linijai, aplamai, statmenai rato plokštumai. Kryptį šitos elektromagnetinės jėgos galime nustatyti kairiosios rankos trijų pirštų taisykle. Taigi, šita elektromagnetinė jėga, kada elektronas sukasi su srove per elektromagneto vingius, prisideda prie centrinės jėgos, vadinasi, didina elektrono greitumą jo orbita, kitaip sakant, trumpina jo periodą. O kada elektronas sukasi prieš srovę elektromagneto vingiuose, tai šita elektromagnetinė jėga veikia prieš centrinę jėgą, vadinasi, mažina elektrono greitumą, kitaip sakant, didina jo periodą. Šita elektromagnetinė jėga yra lygi aplamai Hev, jeigu mes magnetinio lauko stiprumą pažymėsime raide H, elektrono įlydį raide e ir elektrono greitumą raide v. Taigi, magnetiniam lauke mes turėsime dvi orbitas stipinų r_1 ir r_2. Greitumai elektronų ant tų orbitų bus v_1 ir v_2 ir periodai T_1 ir T_2. Ant vienos orbitos išcentrinė jėga bus lygi centrinei jėgai plus elektromagnetinė jėga, o ant kitos centrinei jėgai minus elektromagnetinė jėga. Tokiu būdu mes turėsime dvi lygtis:

$$\frac{mv_1^2}{r_1} = kr_1 + Hev_1 \quad (1); \quad \frac{mv_2^2}{r_2} = kr_2 - Hev_2 \quad (2).$$

Padaliję lygtį (1) į r_1 ir lygtį (2) į r_2 mes gausime:

$$\frac{mv_1^2}{r_1^2} = k + He\frac{v_1}{r_1}$$

$$\frac{mv_2^2}{r_2^2} = k - He\frac{v_2}{r_2}$$

Paimsime šitose lygtyse $v_1 = \frac{2\pi r_1}{T_1}$ ir $v_2 = \frac{2\pi r_2}{T_2}$.

Tad gausime: $\frac{4\pi^2 m}{T_1^2} = k + He\frac{2\pi}{T_1}$.

$$\frac{4\pi^2 m}{T_2^2} = k - He\frac{2\pi}{T^2}.$$

Atėmę antrąją lygtį iš pirmosios, turėsime:

$$4\pi^2 m\left(\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_2^2}\right) = 2\pi He\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right).$$

Atlikę reikalingus sutraukimus ir veiksmus, iš šitos lygties gausime:

$$\frac{e}{m} = \frac{2\pi}{H}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1\, T_2}\right).$$

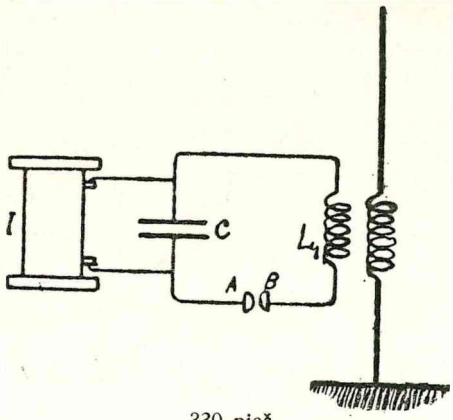
Tikrenybėje magnetinis laukas visuomet labai mažai perskiria spektro linijas, vadinasi, sudaro labai mažą skirtumą periodų. Pažymėsime periodą normalinės linijos, kurią veikia magnetinis laukas, ženklu T_0. Tad mes galime sakyti $T_1\, T_2 = T_0^2$ ir tad mūsų lygtis atrodys taip: $\frac{e}{m} = \frac{2\pi}{H}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_0^2}\right)$. Pažymėtiems čia periodams spektro linijų (arba elektronų virpėjimų) atatinka šviesos bangos tam tikrų ilgių, būtent λ_0, λ_1, λ_2, kurie dydžiai surišti su periodais žinomomis lygtimis: $\lambda_0 = vT_0$, $\lambda_1 = vT_1$ ir $\lambda_2 = vT_2$. Čia v reiškia švisos greitumą. Taigi pakeisdami paskutinėje lygtyje periodus bangų ilgiais mes gausime tokią lygtį:

$$\frac{e}{m} = \frac{2\pi}{H}\cdot\frac{\frac{\lambda_2}{v} - \frac{\lambda_1}{v}}{\frac{\lambda_0^2}{v^2}} = \frac{2\pi}{H}\cdot\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_0^2}\cdot v.$$

Taigi, Zeemano efektas padeda apskaityti santykį e/m. Paimsime pavyzdį. Runge ir Paschenas, du vokiečių fizikai, tyrinėdami gyvojo sidabro garų spektrus, nustatė charakteringai gyvajam sidabrui žaliai linijai magnetiniame lauke tokį santykį: $\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_0^2} = 2{,}14$. Magnetinio lauko stiprumas buvo $H = 24600$ gausų. Taigi, iš tų dviejų tyrinėtųjų bandymų bus: $\frac{e}{m} = \frac{2{,}14.\,2\pi.\,310^{10}}{24600} = 1{,}65.10^7$. Iš minėto J. Thomsono eksperimentų (žiūr. kitą paragrafą) bus: $\frac{e}{m} = 1{,}77.10^7$. Kadangi Thomsono metodas remiasi visiškai kitais fenomenais, tai toksai sutapimas elektrocheminio ekvivalento elektrono e/m vienu ir kitu atveju yra geriausias įrodymas Lorentz'o hipotezės tikrumo. Šiandien fizikoje laikoma faktu, kad bent matomoji šviesa, ultra-violetiniai spinduliai ir X-spinduliai sudaromi elektronais. Vadinasi, elektronų virpėjimai yra tikras šaltinis tų elektromagnetinių bangų, kurias mes vadiname šviesa (žiūr. dar apie tai 27 §).

Taigi, matomos ir nematomos šviesos srityje mes turime elektromagnetines bangas, kurių ilgiai randasi ribose 300 μ (kraštutinė infra-raudona linija) ir 0,00003 μ (didžiausio dažnumo Röntgeno spinduliai). Kaip jau anksčiau paminėta, trumpiausia elektromagnetinė banga, kurią sudaro tam tikrų išmatavimų Hertz'o oscilatorius, yra lygi 0,6 cm. arba 6000 μ. Tarpas tarp 6000 μ ir 300 μ mums dar šiandien nežinomas. Kokios rūšies, kokio veikimo yra tos elektromagnetinės bangos, kurios užima šitą

tarpą, parodys ateitis. Antra vertus, elektromagnetinės bangos, kurios galima sudaryti Hertz'o oscilatoriais ir kosmiškais oscilatoriais, randasi ribose nuo 0,6 cm. ligi begalybės. Sutrenkus žaibui į žemę, žemės elektra išvedama iš pusiausvyros ir atlieka per sekundą 17 oscilacijų tarp antipodų (nuo polio ligi polio). Taigi mes čia turime elektromagnetines bangas ilgio $\lambda = \frac{v}{n} = \frac{3.10^{10}}{17}$ cm. = 20000 kilometrų. Saulės elektros oscilacijų perijodas yra lygus $6\ ^1/_4$ sekundos. Tai atatinka bangai $\lambda = 1600000$ kilometrų. Taigi Maxwell'io elektromognetinės šviesos teorija tokiu būdu suriša dvi dideles fizikos sritis: optiką ir elektromagnetizmą, taip kad optika sudaro tik elektromagnetizmo šaką. Be to, Maxwell'io teorija einant galima gaminti šviesa šaltu būdu, elektriškomis oscilacijomis, jeigu tik kada pasiseks surasti oscilatorius atominių išmatavimų. Tai yra labai svarbus uždavinys chemikams, nes dabartiniai dirbtinės šviesos gaminimo būdai labai neekonomingi. Mes gauname šviesą iš kūnų augštos temperatūros ir tokiomis sąlygomis geriausiu atsitikimu tiktai 1% visos energijos suvartojama šviesai.



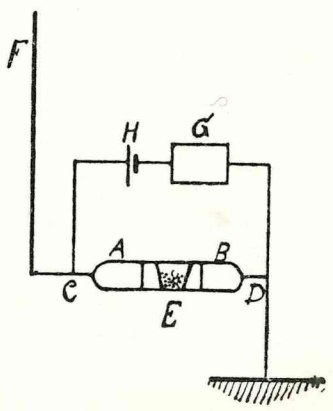
330 pieš.

Svarbiausias ir didžiausias pritaikymas išdėstytos 23 ir šitame elektromagnetinių bangų teorijos yra radio telegrafas (bevielis telegrafas) ir radio telefonas (bevielis telefonas), kurių pagrindus mes dabar trumpai ir išdėstysime. Fizikai ir technikai, susipažinę su Hertz'o bangomis, tuojau ėmė ieškoti būdų sunaudoti tas bangas ženklų perdavimui į atokumą. Sudaryti pakankamai didelės energijos ir didelio dažnumo elektriškas oscilacijas, einant Hertz'o pavyzdžiu, nebuvo sunkenybių. 330 pieš. schematiškai atvaizduoja tokį oscilacijų tinklą arba ratą, su kurio pagalba galima paleisti į erdvę elektromagnetinės bangos. Mes čia turime galingą induktorių, prie kurio antrinių polių prijungtas tinklas arba ratas, sudarytas iš kondensatoriaus C, kibirkščių tarp AB ir transformatoriaus L_1L_2. Čia L_1 reiškia pirminę transformatoriaus špulę, o L_2 antrinę. Induktorių J galima varyti srove iš dinamo mašinos ir varant jį mes gausime galingus išlydžius kibirkštimis didelio dažnumo tarpe AB. Galima šitą dažnumą oscilacijų nustatyti taip, kaip mums reikia, remiantis žinoma jau mums formula $n = \frac{v}{2\pi\sqrt{Lc}}$, vadinasi, atatinkamai parenkant talpumą C ir saviindukciją L_1 pirminės transformatoriaus špulės. Elektros oscilacijos šitoje pirminėje špulėje L_1 sudarys per indukciją elektrovaromosios jėgos variacijas antrinėje traosformatoriaus špulėje L_2, o jau tos elektrovaromosios jėgos variacijos sudarys elektros osciliacijas pakankamai ilgame laidininke, kurio vienas galas sujungtas su žeme, o antrasis pakankamai yra išsikišęs augštyn į orą ir kurio dalį sudaro antrinė transformatoriaus špulė L_2. Šitas laidininkas vadinasi antena (oro laidininkas). Esant jame elektros oscilacijoms iš jo erdvėje skleidžiasi elektromagnetinės bangos. Aprašyta čia schema sudaro pagrindinius dalykus galingo oscilatoriaus padavimo stoties. Nesunku suvokti, kad tik dalis elektromagnetinės bangos, kurią paleidžia antena; bus ore viršuj žemės, o kita dalis bus žemėje, nes antena sujungta su žeme, taip kad ore skleisis tik dalis kilpos, kuri sudaro elektros bangą. Nesunku taipogi matyti, kad antena primena linijinį Hertz'o oscilatorių, kurį atvaizduoja 329 piešinys. Pagaliau savaime suprantama, kad galima apsieiti ir be antrinės indukcijos špulės L_2, įterpus į antenos tarpą indukcijos špulę L_1 arba net visiškai apsieinant be šitos indukcijos špulės ir be kibirkšties tarpo AB ir padarius tokį kibirkšties tarpą antenoje. Bet šituo atveju oscilacijos bus per silpnos ir elektromagnetinės bangos, sulyginti, nedideliuose atokumuose nuo oscilatoriaus bus

jau labai silpnos. Tuo tarpu transformatorius padeda žymiai padidinti indukcijos elektrovaromąją jėgą antrinėje špulėje L_2 ir tokiu būdu gauti tos elektrovaromosios jėgos žymiai didesnių variacijų ir, vadinasi, gauti antenoje elektros oscilacijų žymiai didesnėmis amplitūdomis. Taigi, vartojant transformatorių elektromagnetinės bangos pasieks žymiai didesnius atokumus, kol nustos savo energijos. Pridursime čia dar, kad aprašytas čia oscilatorius duoda slopinamų elektromagnetinių bangų (žiūr. 324 pieš. tirštai nupieštą kreivą liniją), nes oscilacijos kibirkštimis yra slopinamos oscilacijomis Del bangų ilgio vartojamų vidutiniško didumo stotyse duosime tokį pavyzdį. Kondensatoriaus C talpumas būna 6.10^{-9} faradų (elektromagnetiniai talpumo vienetai) ir saviindukcija 8.10^{-5} henry (irgi elektromagnetiniai vienetai). Tokiomis sąlygomis dažnumas $n = \frac{1}{2\pi \sqrt{6.10^{-9}.8.10^{-5}}} = 2{,}3.10^5$. Vadinasi, bangos ilgis $\lambda = \frac{3.10^{10}}{2{,}3.10^5} = 1300$ metrų

Labai dažnai vartojamos radio telegrafijoje bangos būna tokio ilgio, aplamai nuo 1,5 ligi 2 kilometrų.

Tegu bangos, išėjusios iš antenos padavimo stoties tam tikram atokume, sakysime, itin toli pasiekia tokią pat anteną sudarančią dalį elektros oscilacijų rato arba tinklo, Tada tos bangos sudarys oscilacijas išilgai antenos, bet tos oscilacijos bus labai silpnos ir jų negalima bus konstatuoti su pagalba aprašytų Hertz'o rezonatorių. Ir, aplamai, Hertz'o rezonatorius net ir tais atvejais, kada jis atsiliepia, netinka ženklų priėmimams, nes sunku su pagalba Hertz'o rezonatoriaus ženklai įvairinti, o be įvairinimo negali būti kalbos apie išnaudojimą tokios sistemos susisiekimo tikslams. Taigi, kad tiktų elektromagnetinės bangos tokiems tikslams, reikėjo išrasti kitas įrankis, kuris smarkiau ir aiškiau reaguotų į elektromagnetines bangas, vienu žodžiu, reikėjo išrasti atitinkamas detektorius elektromagnetinėms bangoms. Toksai detektorius buvo išrastas tuo pačiu laiku Lodge'o ir Branly'o ir italų kilmės inžinieriaus Marconi'o buvo tuojau sunaudotas įtaisant bevielį telegrafą. Tasai detektorius vadinasi kohereris ir jo veikimas pareina nuo to, kad smulkūs metaliniai grūdeliai, paprastai blogas elektros laidininkas, darosi pusėtinu elektros laidininku, kada ant sluogsnio tokių grūdelių krinta elektromagnetinės bangos. 331 pieš. atvaizduoja schematiškai kohererį ir jo sujungimą su antena, kurią pasiekia elektromagnetinės bangos iš tolo ir kurioje tos bangos sudaro elektriškų oscilacijų. Kohereris yra stiklo vamzdis AB, į kurio galus įlydyti metaliniai, sakysim, sidabriniai, elektrodai C ir D, o tarpas tarp elektrodų E užpildytas smulkių apskritų sidabro grūdelių. Oras iš stiklo vamzdžio evakuotas. Vietoj sidabro grūdelių galima vartoti ir nikelio, ir geležies grūdelių, ir kitų metalų grūdelių. Bet ypatingai gerai veikia sidabro grūdeliai. Iš kohererio AB, iš akumulatoriaus H (arba iš akumulatorių batarejos) ir iš galvanometro G (vietoj galvanometro G galima paimti paprasto telegrafo relais) sudaromas tinklas. Vienas kohererio elektrodas C prijungtas prie antenos F, o antrasis D sujungtas su žeme (žiūr. 331 pieš.). Paprastai elektros varža metalinių grūdelių arba miltelių yra tokia didelė, kad srovė iš akumulatoriaus arba net iš akumulatorių batarejos yra gangreit lygi nuliui, ir galvanometras G arba relais visiškai neveikia. Bet jeigu anteną F pasiekia elektromagnetinės bangos ir joje susidaro oscilacijų, kad ir silpnų, tai įtakoje tų oscilacijų sidabro grūdelių elektros varža žymiai mažėja ir pro tinklą ima eiti srovė iš akumulatoriaus. Ta srovė duoda arba galvanometro atsilenkimą, didesnį ar mažesnį, arba paleidžia relais (žiūr. reikšmę relais 19 §). Taigi, veikiant trumpesnėms arba ilgesnėms eilėms elektromagnetinių bangų registruojamasis galvanometras (Thomsono galvanometras, žiur. 19 §) arba aparatas Morze duoda taškų arba linijų ir, vadinasi, kombinuojant tuos taškus ir linijas galima



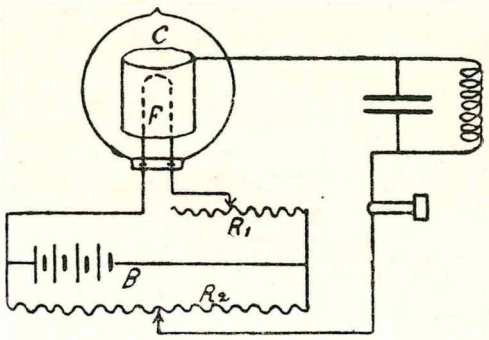
331 pieš.

taip pat susiprasti kaip ir naudojantis paprastu telegrafu. Reikia vienok turėti galvoj, kad, pasiekus elektromagnetinėms bangoms kohererį, jo padidintas laidumas pasilieka ir tada, kada elektromagnetinės bangos nustoja veikusios. Manoma, kad veikiant elektromagnetinėms bangoms tarp metalo grūdelių susidaro kibirkštėlių, nelyginant kaip Hertz'o rezonatoriaus tarpe, ir kad tos kibirkštėlės sulydina metalo grūdelius, taip kad susidaro labiau kompaktinė metalo masė. Bet sulydymas metalo dalelių čia yra labai silpnas, ir todel lengvai sutrenkus kohererį, sudavus per jį lengvai pirštu arba plaktuku, metalo dalelės vėl bus atskirtos vienos nuo kitų, ir vėl jų varža pasidarys labai didelė. Taigi, kad kohereriu galima būtų atskiri ženklai priiminėti, reikia dar aprūpinti kohereris tam tikru elektromagnetiniu aparatu, kuris automatiškai sutrenkia kohererį ir tokiu būdu panaikina jo laidumą. Šita aplinkybė apsunkina kohererio vartojimą radio telegrafui. Be to, kohereriu negalima įtaisyti radio telegrafo dideliems atokumams, sakysime, 10000—20000 kilometrų. Bet šiaipjau kohereris yra labai tinkamas elektromagnetinių bangų detektorius nedideliems atokumams ir todel turi platų pritaikymą laboratorijoje.

Akivaizdoje šitų sunkenybių pradėta mėginimai pritaikant telefoną radio telegrafui, nes telefonas, aplamai, yra itin jautrus instrumentas ir telefonu galima konstatuoti labai mažų amplitūdų vibracijos. Bet telefonu mes girdime, o kada vibracijų dažnumas darosi didesnis kaip 20000 per sekundą, tai tiktai išimtinų žmonių ausys gali dar išgirsti tokį augštą toną. Dauguma žmonių nebegirdi tonų, kurių dažnumas yra augštesnis kaip 20000 per sekundą. Todel įterpus telefoną vieton baterijos H ir galvanometro G schemoje 331 piešinio, jis neveiks, nes mes čia turėsime oscilacijų, kurių dažnumas bus keli šimtai tūkstančių per sekundą. Tokio dažnumo osciliacijoms telefono plokštelė nepasiduoda ir nevibruoja, nekalbant jau apie tai, kad, jeigu ta plokštelė ir pasiduotų tokioms oscilacijoms, tai vis tiek mes nieko neišgirstume. Kad telefonas veiktų ir mes girdėtumėm ūžimą, bimbėjimą arba, aplamai, kokį nors toną, reikia iš tų didelio dažnumo oscilacijų gauti nuolatinės krypties srovė, bet pertraukiama arba svyruojama. Atsimenant kreivą oscilacijų liniją, kurią atvaizduoja 324 piešinys tiršta linija, reikia panaikinti arba apatinės tos kreivosios dalys arba viršutinės. Tada mes turėsime srovę tam tikros nuolatinės krypties, bet su pertraukomis ir svyruojamą. Vienu žodžiu, reikia ištiesti srovė, reikia gauti srovė tam tikros vienos krypties. Jau senai buvo žinoma, kad kai kurie kristalai, kaip kvarcas, karborundas, švino blizgis ir kiti geriau praleidžia elektros srovę viena kryptimi, kaip kita kryptimi. Taigi, padėję tokį kristalą tarp dviejų metalinių plokštelių taip, kad būtų kontaktas tarp kristalo ir plokštelių ir įjungę šitą kombinaciją vieton kohererio schemoje 331 piešinio, o akumulatorių H ir galvanometrą G pakeitę telefonu, mes išgirsime telefone trumpą garsą, kiekvieną sykį, kada kibirkšties išlydis ant padavimo stoties pasieks anteną F priėmimo stoties elektromagnetinių bangų pavidalu. Tos elektromagnetinės bangos sudarys eilę oscilacijų antenoje ir, vadinasi, tinkle, sujungtame su ta antena. Bet kristalas praleis srovę tik viena kryptimi, o antra kryptimi nepraleis. Taigi telefono plokštelė gaus nuo šitos pertraukiamos srovės viena kryptimi eilę impulsų, ir tie impulsai sudarys telefono plokštelės vibraciją. Kiekviena kibirkštis padavimo stotyje duoda eilę didelio dažnumo slopinamų oscilacijų ir į kiekvieną tokią kibirkštį telefonas priėmimo stotyje atsiliepia čiptelėjimu. Padavimo stotyje galima tos kibirkštys su Morze's raktuko pagalba leisti taip, kad jos sektų viena kitą greičiau arba rečiau, ir tokiu būdu telefone mes gausime tai trumpų garsų tai ilgesnių, ir kombinuodami tokius garsus, susitarę del jų kombinacijos, galėsime iš jų išskaityti paduodamą žinią.

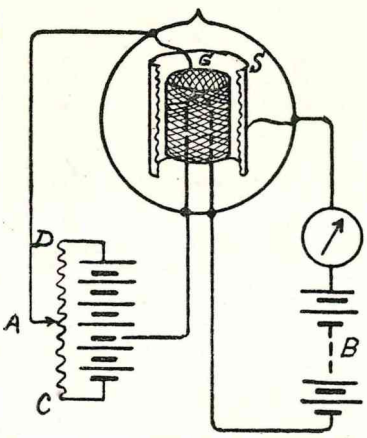
Kristaliniai detektoriai vartojami ir šiandien radio telegrafijoje, ir todel reikėjo čia jie paminėti. Bet radio telegrafas ir radio telefonas tokiam maštabe kaip jie šiandien vartojami, pasidarė galimi tik nuo 1904 metų, kada prof. J. A. Flemingas išrado vadinamą termionišką arba elektrišką plautelį (vožtuvėlį). 332 piešinys atvaizduoja šitą plautelį (vožtuvėlį) schematiškai ir rodo, kaip jis sujungiamas su galvanometru arba su telefonu. Patsai plautelis C atrodo kaip elektros kaitinimo lempa, vadinasi, turi kriaušės, cilinderio arba rutulio pavidalą. Rutuly arba cilindery mes turime įlydytą platinos arba dar geriau wolframo vielą F. Šita viela apsupta metališku cilinderiu iš nikelio. Prie to cilinderio prijungtas galas platinos vielos, įlydytos į stiklo rutulį.

Oras iš rutulio pašalintas ligi didžiausio šių dienų priemonėmis pasiekiamo praskiedimo laipsnio. Tinkamam veikimui šito aparato labai svarbu turėti tokis vakuumas, koksai tik galima atsiekti. Šito plautelio veikimas remiasi tuo jau mums žinomu faktu (žiūr. 14 §), kad smarkiai įkaitinti metalai gausiai leidžia neigiamos elektros dalelių arba elektronų. Taigi, paleidus srovę iš nedidelės akumulatorių batarejos B per ploną vielą F, kaip rodo 332 piešinys, šita viela įkais ir ims leisti gausių elektronų. Elektronų judėjimas nuo vielos F ligi cilinderio C yra ekvivalentingas teigiamos elektros srovei nuo cilinderio C į vielą F per vakuumą. Bet toki srovė tęsis tik tol, kol nikelio cilinderis C bus užtaisytas neigiamai elektronais ir pasieks tam tikrą potencialą, žemesnį kaip potencialas siūlo F. Tada elektros srovė per vakuumą sustos, nes tolimesnis judėjimas elektronų iš siūlo F bus sustabdytas atsparos jėgomis neigiamai užtaisyto cilinderio C. Bet, jeigu dabar pakeltume potencialą cilinderio C, kitaip sakant, suteiktume jam teigiamą potencialą, sakysime, prijungę šitą cilinderį C prie teigiamo polio batarejos B, kaip rodo piešinys, tai srovė elektronų iš siūlo F vėl prasidės ir tęsis tol, kol cilinderis C, vadinamas plautelio anodas, pasiliks sujungtas su teigiamu batarejos poliu. Vadinasi, tokiu atveju mes turėsime srovę elektronų iš siūlo F į plokštelę C, o šita srovė yra ekvivalentinga teigiamai srovei nuo plokštelės C į siūlą F. Taigi, toki teigiama srovė bus visuomet, kada potencialas C bus augštesnis, kaip potencialas F, ir jis sustos, kada potencialas C pasidarys žemesnis, kaip potencialas F, nes elektronai, kaipo neigiamos elektros dalelės, savaime slenka nuo žemesnio potencialo į augštesnį potencialą. Taigi, šitame plautelyje srovė eina per vakuumą lengviau viena kryptimi, kaip kita kryptimi, ir todel šituo plauteliu, nelyginant kaip kristaliniu detektoriu, galima pasinaudoti ištiesiant srovę, kad iš kintamosios srovės būtų gauta srovė tam tikros nuolatinės krypties. Taigi, prijungę prie batarejos B siūlą F, prijungę plokštelę C prie teigiamo batarejos polio ir įjungę į tinklą plokštelės C transformatoriaus antrinę špulę, šuntuota kondensatorium, ir telefoną, mes turėsime gerą detektorių elektromagnetinėms bangoms (žiūr. 332 pieš.). R_1 ir R_2 reiškia reguliuojamas varžas, su kurių pagalba iš vienos pusės galima nustatyti tam tikra srovė per siūlą F (paleidus per stiprą srovę siūlas gali sutirpti: reguliavimui tos srovės čia ir parodyta varža R_1), o iš antros pusės su pagalba varžos R_2 galima nustatyti reikiamą potencialų skirtumą tarp plokštelės C ir siūlo F. Pirminės transformatoriaus špulės, sudarančios antenos dalį, piešiny neparodyta. Jeigu anteną pasieks elektros oscilacijos, tai tos oscilacijos sudarys pirminėje transformatoriaus špulėje kintamąją didelio dažnumo srovę. Tokio pat dažnumo kintamoji srovė bus indukuota antrinėje špulėje. Bet, kaip jau anksčiau išaiškinta, elektriškas plautelis, arba vožtuvėlis, praleis tik tokią srovę, arba tokias oscilacijas, kurios užtaisys plokštelę C teigiamai, nes tik tokiomis sąlygomis galima bus elektronų srovė vakuume iš F į C. O tokios oscilacijos, kurios užtaisys plokštelę C neigiamai, nebus praleistos, nes tada negalima bus srovė elektronų iš F į C. Todel šitas aparatas vadinamas vožtuvėliu arba plauteliu, nes jis, taip sakant, atsidaro ir praleidžia srovę viena kryptimi iš C į F, ir užsidaro ir sustabdo srovę antra kryptimi iš F į C. Vadinasi, didelio dažnumo kintamoji srovė virsta čia nuolatinės krypties srove, tik pertraukiama, ir šitą srovę sudaro atatinkamų vibracijų telefono plokštelės, kurios duoda tam tikrą muzikos toną. To tono dažnumas arba augštumas pareina nuo dažnumo, kuriuo seka kibirkštys viena kitą padavimo stoties oscilatoriuje. Jeigu, sakysime, per sekundą oscilatorius duoda 100 kibirkščių, tai ir tono dažnumas telefone bus 100. Atliekant padavimo stotyje išlydžius kibirkštimis ilgiau ar trumpiau mes priėmimo stoties telefone girdėsime tą patį muzikos toną, tai ilgesnį, tai trumpesnį.



332 pieš.

Kombinacija tokių ilgesnių ir trumpesnių tonų galima sudaryti abėcėle ir jau naudotis ta abėcėle susižinojimui. Kondensatorius čia reikalingas tam, kad atatinkamai būtų sureguliuotas oscilacijų dažnumas, einant formula: $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (L ir C čia išreikšti elektromagnetiniais vienetais). Įterpus vietoj telefono ampermetrą arba galvanometrą tie instrumentai parodys mums buvimą nuolatinės srovės krypties atžvilgiu, bet ta srovė svyruos stiprumo atžvilgiu. Jeigu padavimo stotyje oscilacijos antenoje sudaromos kibirkštimis, tai mes turėsime slopinamųjų oscilacijų. Kiekviena kibirkštis pasiųs, taip sakant, eilę bangų nuosakiai mažėjančių amplitūdų. Taigi, tos eilės bangų seks viena kitą su pertraukomis. Todel tokiomis slopinamomis oscilacijomis negalima bus pasiekti didelių atokumų ir jau visiškai negalima bus jomis naudotis kalbą perduodant į atokumą. Pagaliau, schema, kurią atvaizduoja 332 piešinys, visiškai netinka priiminėti ženklams iš didelių atokumų, nes, atvykusios iš tolo, oscilacijos yra labai silpnos ir todel duoda silpną efektą telefone. Bet plautelis pasisekė ištobulinti, ir tada pasirodė, kad juo galima gauti nuostabus efektas. Aplamai, pasirodė, kad ištobulintas plautelis galima taikyti įvairiais būdais radio telegrafo ir radio telefono reikalams. Su pagalba plautelio galima sustiprinti arba amplifikuoti silpnos oscilacijos. Be to, su jo pagalba galima sudaryti neslopinamos tolydinės bangos, be kurių negalima perduoti į atokumą tonų ir žodžių.

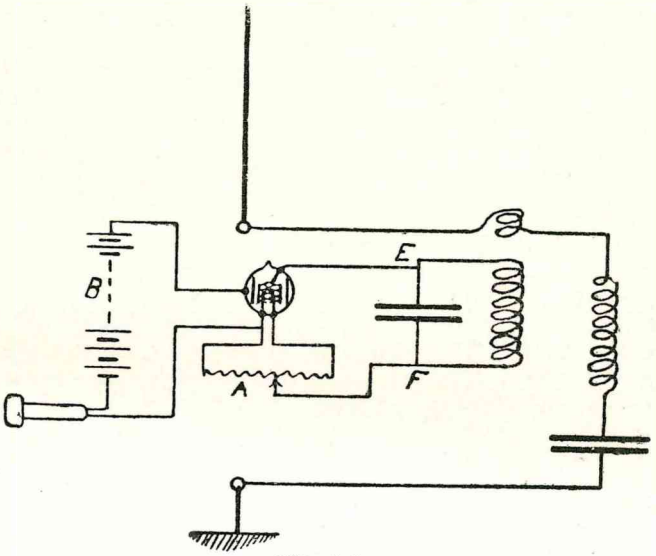


333 pieš.

333 piešinys atvaizduoja tokį ištobulintą plautelį, kuris yra pagrindinis dalykas radio telegrafijoje ir radio telefonijoje. Mes čia turime gerai evakuotą [1]) stiklo arba dar geriau kvarco rutulį su įlydytu platinos arba wolframo siūlu. Ant šito siūlo užmautas cilinderis G iš plono metalinio tinklo, vadinamas žiogrelis, ir ant to tinklo užmautas metalinis cilinderis S — vadinamoji plokštelė. Prie S ir G prijungtos platinos vielos, įlydytos į kvarco rutulį, kaip rodo piešinys. Taigi, toksai plautelis vadinasi trijų elektrodų plautelis. Prijungsime siūlą per reostatą prie batarejos iš keleto akumulatorių taip, kad tas siūlas įkaistų (šita batareja 333 piešiny neparodyta). Siūlas ims gausiai leisti elektronų ir greitai užtaisys neigiamai metalinį žiogrelį G. Todel greitai elektronų srovė iš siūlo į plokštelę S bus sustabdyta ir teigiama srovė nebegalės pereiti iš S į siūlą per vakuumą. Tarpas tarp S ir siūlo teigiamos elektros atžvilgiu pasidarys izolatorium, ypatingai dar tada, kada mes prie žiogrelio G prijungsime neigiamą polį C batarejos DC. Tokiomis sąlygomis iš batarejos B, kurios vienas, būtent + polis per ampermetrą prijungtas prie plokštelės S, o antras — polis prie siūlo, visiškai neis srovė per tarpą tarp S ir siūlo. Stumdami kontaktą A išilgai reostato CD batarejos į pusę teigiamo batarejos polio kelsime potencialą žiogrelio G augštyn (vadinasi, mažinsime neigiamą potencialą). Ampermetras įjungtas į tinklą batarejos B parodys silpną srovę, kuri vienok vis labiau ir labiau stiprės keliant nuosakiai potencialą žiogrelio G. Tokiu būdu mes pasieksime teigiamą potencialą žiogrelio G, ir tada srovė iš batarejos B nuo S į siūlą bus itin stipri. Vadinasi, mes tada turėsime labai stiprią srovę elektronų iš siūlo per tinklą į plokštelę S. Bet dabar keliant teigiamą potencialą žiogrelio G augštyn srovė iš batarejos B stiprės vis pamažiau ir, pagaliau, pasieks tam tikrą nuolatinį dydį, kuris nebesikeis keliant dar augščiau teigiamą potencialą žiogrelio G. Mes galime šituos santykius išreikšti grafiškai tokiu būdu. Paimsime ant abscisos tašką o, kuris atatinka potencialą O žiogrelio G, ir ištiesime iš to taško ordinatą (statmenį), proporcingą srovei iš batarejos B, kurią rodo ampermetras (reikia imti miliampermetrą). Į kairę pusę

[1]) Nepakankamai evakuotame rutuly dujų likučių molekulos trukdys elektronų judėjimą, ir plautelis neveiks.

nuo šito taško O atidėsime suteikiamus žiogreliui G neigiamus potenciaius atatinkamomis linijų atkarpomis ir atatinkamuose taškuose ištiesime ordinatas, proporcingas srovėms iš batarejos B. Taip pat į dešinę pusę nuo O atidėsime teigiamus potencialus žiogrelio G ir ištiesime atatinkamas ordinatas, proporcingas srovėms iš batarejos B prie šitų teigiamų potencialų žiogrelio G. Sujungę galus šitų ordinatų linijomis, mes gausime kreivą liniją, kuri iš pradžios kils augštyn labai pamaži prie neigiamų potencialų žiogrelio G, paskui mažėjant tiems neigiamiems potencialams kils augštyn vis smarkiau ir smarkiau. Tas pats bus perėjus prie teigiamų potencialų, bet, pasiekus tam tikrą teigiamo potencialo didumą, šita kreiva linija pasidarys lygiagreti abscisai. Tada sakoma, kad plokštelės S srovė yra soti. Šita kreivoji vadinasi charekteringa kreivoji plautelio. Taigi suteikus žiogreliui G tam tikrą teigiamą potencialą, kuris atatinka tašką, kuriame kreivoji užlenkia taip, kad darosi lygiagretė abscisai, ir pridedant prie šito nuolatinio potencialo (superponuojant, kaip sakoma) didelio dažnumo kintamąjį potencialą, kuris sudaromas elektriškomis oscilacijomis, plokštelės S tinklo srovė nebepasikeis, kada tas pridėtas kintamasai voltažas bus teigiamas, bet plokštelės S srovė sumažės, kada tas pridėtas kintamasai voltažas bus neigiamas. Vadinasi, kintamojo voltažo superpozicija ant nuolatinio voltažo žiogrelio G visuomet mažins srovę plokštelės S, ir todel telefonas, įjungtas į tinklą plokštelės S, duos tolydinį muzikos toną, jeigu vyks elektriškos oscilacijos pertraukiamomis grupėmis.



334 pieš.

334 piešinys atvaizduoja schemą, kuri rodo, kaip aprašytais žiogrelio G ypatumais galima pasinaudoti norint iš silpnų oscilacijų antenoje gauti aiškų efektą telefone. Tai yra schema sustiprinimo arba amplifikacijos oscilacijų. E ir F yra galai kondensatoriaus, iš kurių E prijungtas prie plautelio tinklo, o F prie siūlo (batareja, kuri peni siūlą, kad jis įkaistų, ir šitam piešiny neparodyta, parodytas tik reostatas A, kuriuo galima reguliuoti žiogrelio potencialas G). Prie kondensatoriaus EF šuntu prijungta antrinė transformatoriaus špulė. Pirminė to paties transformatoriaus špulė iš vienos pusės prijungta prie antenos, o iš antros per kondensatorių sujungta su žeme. Batarejos B + polis prijungtas prie plokštelės S, o — polis per telefoną prijungtas prie plautelio siūlo. Kada anteną pasiekia silpnos oscilacijos, tai tos silpnos oscilacijos pirminėje transformatoriaus špulėje sudaro potencialo variacijų antrinėje špulėje, ir tos potencialų variacijos superponuojasi ant nuolatinio žiogrelio G potencialo, kaip augščiau aprašyta. Kaipo išdava šitos superpozicijos, susidaro žymūs svyravimai nuolatinės krypties srovės, kuri eina per telefoną, ir todel telefonas duoda aiškų muzikos toną. Penėti siūlui pakanka keleto akumulatorių batarejos. Plokštelės S batareja B turi duoti voltažą nuo 100 ligi 400 voltų. Pirminė ir antrinė transformatoriaus špulės apvyniotos viena nuo antros skyrium (izoliuojamai) ant cilinderio iš ebonito.

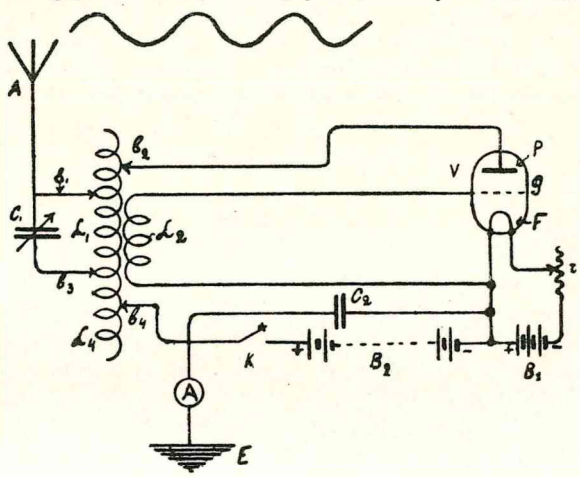
Aprašyta čia amplifikacija oscilacijų bus padidinta, jeigu mes paimsime dar kitą transformatorių, neparodytą piešiny 334, ir vieną galą pirminės to transformatoriaus špulės prijungsime prie plautelio plokštelės S, o antrąjį prie batarejos B + polio, prijungiant batarejos — polį prie siūlo. Tada mes gausime sustiprintas oscilacijas pirminėje tokio transformatoriaus špulėje, kurios per indukciją sudarys dar didesnes va-

riacijas elektrovaromosios jėgos antrinėje to transformatoriaus špulėje. Galima parinkti saviindukcijas ir vingių skaičius pirminės ir antrinės transformatoriaus špulių ir nustatyti abidvi špules tokiam atokume viena nuo antros taip, kad antrinėje špulėje indukuota elektrovaromoji jėga būtų, sakysime, 10 sykių didesnė, kaip elektrovaromoji jėga pirminėje špulėje (žiūr. 21 §). Tada ir amplitūda oscilacijų antrinėje špulėje bus 10 sykių didesnė kaip pirminėje špulėje. Bet galima stiprinti oscilacijos arba amplifikuoti dar labiau, paėmus antrą elektrišką plautelį ir prijungus pirmojo plautelio transformatoriaus antrinę špulę vienu galu prie žiogrelio G, o antruoju prie siūlo, ir prijungus prie šitos antrinės špulės šuntu kondensatorių. Tada mes turėsime sustiprintas 10 syk srovės oscilacijas antro plautelio tinkle. Prijungę vėl prie šito antro plautelio plokštelės pirminę špulę trečiojo transformatoriaus vienu galu, o antruoju prie batarejos + polio, mes galime sudaryti antrinėje špulėje to trečio transformatoriaus oscilacijų 10 sykių didesnių, kaip antrinėje špulėje antrojo transformatoriaus ir, vadinasi, 100 sykių didesnių, kaip antrinėje špulėje pirmojo transformatoriaus. Taigi paėmę du plautelius amplifikacijai, mes gausime sustiprinimą oscilacijų 100 sykių. Kitaip sakant, jeigu vidutinis dydis kintamosios elektrovaromosios jėgos tarp žiogrelio G ir siūlo pirmojo plautelio yra lygus 0,707 voltų (tai reiškia, kad ta elektrovaromoji jėga svyruoja tarp + 1 volto ir tarp — 1 volto, žiūr. 22 §), tai vidutinis dydis kintamosios elektrovaromosios jėgos antrinėje špulėje transformatoriaus antrojo plautelio bus 0,707.100 = 70,7 voltų. Sujungę tokiu būdu tris plautelius gausime dar didesnę amplifikaciją ir t. t. Taigi, tarytum, nėra ribų oscilacijų amplifikacijai su pagalba elektriškų plautelių, ir todel galima išgirsti telefone, kuris įjungtas į tinklą antrinės špulės paskutinio transformatoriaus, silpniausios oscilacijos, kurios pasiekia anteną. Šitos oscilacijos antenoje yra didelio dažnumo, ir todel aprašyta čia amplifikacija vadinasi radioamplifikacija. Kaip jau anksčiau paminėta, tokio didelio dažnumo oscilacijos neveikia telefoną, bet su pagalba to paties plautelio iš oscilacijų gaunama srovė nuolatinės krypties, tik pertraukiama, su tokiu dažnumu, su kokiu leidžiamos kibirkštys padavimo stotyje. Be to, su tuo pačiu plauteliu galima amplifikuoti ir kintamoji srovė, sulyginti, nedidelių dažnumų. Tai svarbu radio telefonijoje, ir tokia amplifikacija vadinasi audion - amplifikacija (todel ir termioniškas arba elektriškas plautelis dažnai vadinasi audion'as, nuo lotynų žodžio „audio" — girdžiu).

Grįždami prie 334 piešinio atkreipsime dar dėmesį į ypatingą saviindukcijos špulių ir kondensatorių reikšmę šitoje sistemoje. Jeigu anteną pasiekia oscilacijos tokio dažnumo, kuris neatatinka antenos tinklo natūraliam dažnumui, tai tokios oscilacijos gali sudaryti antenoje tik priverstinų oscilacijų. Vadinasi, efektas bus labai silpnas (žiūr. „Bangų Mokslo" 2 §). Bet jeigu anteną pasiekia oscilacijos tokio pat dažnumo kaip natūralus dažnumas antenos tinklo, tai tada antenoje mes gausime simpatiškų oscilacijų ir turėsime smarkiausį efektą. Antenos tinklo natūralus dažnumas galima keisti plačiose ribose, turint tokią indukcijos špulę, kurios saviindukcija galima keisti, ir tokį kondensatorių, kurio talpumas galima keisti. Radio - telegrafo aparatai aprūpinami tokiomis špulėmis ir tokiais kondensatoriais. Vadinasi, mes galime (remdamiesi formula $n = \frac{1}{\sqrt{LC}}$) eliminuoti veikimą priėmimo stoties anteną visų kitų padavimo stočių ir gaudyti tik ženklus iš tam tikros vienos padavimo stoties, jeigu mes žinome dažnumą oscilacijų tos padavimo stoties ir žinome jos abėcėlę. Savaime suprantama, kad ir saviindukcijos špulės ir kondensatoriai plautelių (plautelių oscilacijos tinklai) turi būti nustatyti ant to paties dažnumo. Vienu žodžiu, rezonansas šitoje srityje turi didžiausios reikšmės, ir visi oscilacijos tinklai tos ar kitos stoties turi būti nustatyti ant to paties dažnumo.

Visa tai, kas yra išdėstyta, liečia elektromagnetines bangas, sudaromas kibirkščių oscilacijomis. Tai yra slopinamosios oscilacijos. Tokiomis oscilacijomis negalima naudotis perduodant į atokumą kalbą ir aplamai tonus, vartojant šitam perdavimui žinomus jau mums mikrofoną ir telefoną (žiūr. 21 §). Kad galima būtų išgirsti kalbą, pridėjus prie ausies telefoną, reikia, kad per telefono tinklą eitų nuolatinė srovė ir kad prie tos nuolatinės srovės prisidėtų kintamoji srovė, sudaryta mikrofono plokš-

telės vibracijomis, vadinasi, kintamoji srovė tokio dažnumo, kokio dažnumo tonas arba garsas, kuris veikia mikrofono plokštelę. Tai bus kintamoji srovė, sulyginti, nedidelio dažnumo, daugiausia 10000 per sekundą. Toki kintamoji srovė veikia dar telefono plokštelę. Tuo tarpu elektriškos oscilacijos, kurių dažnumas gali būti nuo 100.000 ligi 1.000.000 per sekundą, visiškai neveikia telefono plokštelės. Ir, aplamai, telefono špulė nepraleidžia tokio didelio dažnumo kintamosios srovės del nepaprastai didelio impedanso. Tasai impedansas didelis todel, kad telefono špulėje mes turime geležies arba plieno šerdį. Pasirodo, kad tolydinės, neslopinamos, harmoniškos elektromagnetinės bangos vaidina tokį pat vaidmenį garsų perdavime, kaip tolydinė srovė telefono tinkle. Vadinasi, vietoj vielų tarp dviejų stočių mes galime pasinaudoti tokia tolydine eile neslopinamų elektromagnetinių bangų, bangų visiškai panašių į tas, kurių oda muzikalinis instrumentas, sakysime, smuiko styga arba vargonų dūda (žiūr. 324 pieš., punktyru nupiešta kreiva linija). Tokios bangos galima sudaryti su pagalba Voltos lanko. Jeigu šuntu prie Voltos lanko bus prijungta saviindukcijos špulė ir kondensatorius, tai toksai Voltos lankas duoda muzikos toną, vadinasi, duoda oscilacijų, sulyginti, nedidelio dažnumo. Toksai Voltos lankas vadinasi kalbamuoju arba dainuojamuoju, nes įterpus į jo tinklą mikrofoną ir, sakysime, dainuojant į šitą mikrofoną, mes sudarysime lanko srovės vibracijas ir todel lankas dainuos tai, kas dainuojama į mikrofoną. Atatinkamai keičiant prijungtos špulės saviindukciją ir kondensatoriaus talpumą galima Voltos lanko oscilacijoms suteikti didelį dažnumą, ir tada tasai Voltos lankas yra išteklius tolydinių neslopinamųjų elektromagnetinių bangų. Voltos lankas yra netikra priemonė gauti neslopinamoms oscilacijoms, ir todel šitam reikalui retai vartojamas. Didžiausia termioniško plautelio reikšmė yra ta, kad su jo pagalba galima ne tik ištiesti didelio dažnumo oscilacijų ir amplifikuoti jos, bet ir gauti tolydinių neslopinamųjų elektromagnetinių bangų, reikalingų radiotelefonijai aplamai radiotelegrafijai dideliems atokumams. Tik del amplifikacijos ir tolydinių neslopinamųjų oscilacijų sudarymo su pagalba termioniško plautelio galima šiandien gauti ne tik ženklų per 10.000 ir 20.000 kilometrų, bet ir susikalbėti.



335 pieš.

335 piešinys atvaizduoja schemą sujungimo plautelio su antena gauti tolydinėms neslopinamosioms oscilacijoms. V čia reiškia plautelį. P to plautelio cilinderis arba anodas, G žiogrelis ir F metalinis siūlas. B_1 batareja, kuri peni siūlą (palaiko jį įkaitintoje būklėje). Srovė per siūlą reguliuojama reostatu r. Žiogrelis G sujungtas su siūlu F per saviindukcijos špulę L_2, kuri vadinasi žiogrelio špule. Plokštelė arba anodas P sujungtas su siūlu per kitą saviindukcijos špulę L_1, Morze's raktuką K ir augšto voltažo nuo 200 ligi 400 voltų batareją B_2. Batarejos B_2 — polis prijungtas irgi prie siūlo. Be to, prie tos batarejos B_2 šuntu prijungtas kondensatorius C_2. Taip pat saviindukcijos špulė L_1 šuntuota kondensatorium C_1. Volframo siūlas F leidžia gausių elektronų, kurie per žiogrelio G tarpus pasiekia anodą P. Jeigu tas anodas turi teigiamą potencialą, tai mes visą laiką turėsime nuolatinę srovę elektronų iš siūlo į anodą P ir nuolatinę teigiamą srovę per vakuumą iš anodo P į siūlą. Šita srovė eina per špulę L_1. Bet špulė šuntuota kondensatorium C_1, ir todel susidaro srovės oscilacijų špulėje L_1, kurių dažnumas pareina nuo špulės saviindukcijos ir nuo kondensatoriaus talpumo. Šitos oscilacijos indukuoja kintamąją elektrovaromąją jėgą špulėje L_2, jeigu ta špulė dažnumo atžvilgiu suderinta su špule L_1 ir randasi arti nuo

jos. Kintamoji elektrovaromoji jėga tinkle žiogrelio G keičia potencialą to žiogrelio G ir užtaiso jį tai neigiamai, tai teigiamai. Kada žiogrelis G užtaisytas neigiamai, tai srovė elektronų iš siūlo į anodą P mažėja, vadinasi, mažėja srovė anodo P tinkle. Kada žiogrelis G užtaisytas teigiamai, elektronų srovė iš siūlo F į anodą P stiprėja. Vadinasi, stiprėja srovė tinkle anodo P. Taigi sujungus anodo ir žiogrelio tinklus taip, kaip rodo 335 piešinys, ir suderinus tų tinklų dažnumus, oscilacijos špulėje L_1 ir anodo P tinkle sudarys oscilacijų špulėje L_2 ir tinkle žiogrelio G, o oscilacijos tinkle žiogrelio G vėl sudarys oscilacijų anodo tinkle ir t. t. Vienu žodžiu, oscilacijos tinkle anodo P palaikys oscilacijas tinkle žiogrelio G, o tos pastarosios iš savo pusės palaikys oscilacijas tinkle anodo P. Tokiomis sąlygomis mes turėsime tolydinių neslopinamųjų oscilacijų špulėje L_1, kurios bus superponuotos ant nuolatinės srovės iš batarejos B_2. Kondensatorius C_1 prijungtas prie špulės L_1 šliaužiamais kontaktais b_1 b_3, taip kad galima keisti saviindukcija špulės L_1. Kondensatorius C_1 turi tokią konstrukciją, jog galima keisti jo talpumas. Vadinasi, šitam tinklui galima suteikti toks dažnumas, koks reikalingas.

Kad neslopinamosios oscilacijos būtų išteklium tolydinių elektromagnetinių bangų, reikia prijungti prie saviindukcijos špulės kontakte b_1 antena A, kaip rodo 335 piešinys. Ta antena yra sudėta iš dviejų arba daugiau vario vielų, kurios iškištos augštyn į orą ligi tam tikro augščio ir toliau užlenktos gulsčiai ir ištiestos dar per tam tikrą atokumą gulsčia kryptimi. Laisvi tų vielų galai izoliuoti. Kontaktas b_4 per karščio ampermetrą A prijungtas prie plokštės E, įleistos į žemę. Antena A turi tam tikrą elektrišką talpumą žemės atžvilgiu ir todel į ją galima žiūrėti kaipo į kondensatorių, prijungtą prie špulės L_1 taškuose b_1 ir b_4. Atatinkamai nustačius kontaktus b_3 ir b_4 galima suderinti dažnumo atžvilgiu oscilacijos tinklai, sudaryti iš vienos pusės kondensatorium C_1 ir špule L_1 tarp kontaktų b_2 ir b_3, ir iš antros pusės antena A ir špulės L_1 dalimi tarp kontaktų b_2 ir b_4.

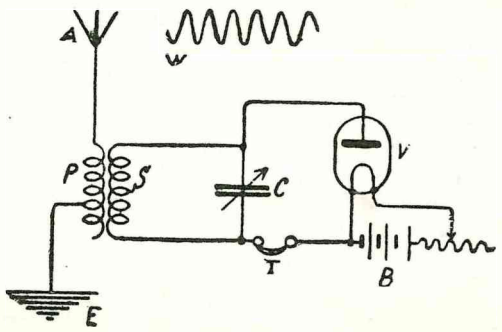
Atlikus tokį suderinimą ir uždarius Morze's raktuką K, batareja B_2 paleis elektronų srovę iš siūlo į anodą P, iš kur tie elektronai grįš į batareją B_2 per špulę L_1. Žiogrelis G įsigys nedidelį neigiamą įlydį, ir todel elektronų srovė iš batarejos sumažės. Šitas srovės sumažėjimas per indukciją tarp špulių L_1 ir L_2 suteiks nedidelį + įlydį žiogreliui G. Tai vėl sustiprins elektronų srovę iš siūlo. Vienu žodžiu, mes turėsime oscilacijų srovės anodo tinkle. Tikslas kondensatoriaus C_2, prijungto šuntu prie batarejos B_2, yra tas, kad augšto dažnumo oscilacijos galėtų susidaryti tinkle anodo P. Potencialo variacijos kondensatoriaus C_1 tokiomis sąlygomis sudarys simpatetiškų oscilacijų antenoje, ir iš antenos skleisis nepertraukiama, tolydinė eilė elektromagnetinių bangų, kaip rodo 335 piešinys. Ampermetras A parodys didelio dažnumo srovę, kuri čia vadinasi antenos srove.

Aprašytas čia sujungimas plautelio anodo ir plautelio žiogrelio oscilacijos tinklų gaminimui tolydinių neslopinamų elektromagnetinių bangų vadinamas suporinimu. Šita elektriška sistema yra panaši veikimo atžvilgiu į garinės mašinos cilinderį. Į cilinderį tolydžio priteka iš katilo garai ir suteikia cilinderio stumekliui tolydinį slinkimą tam tikra kryptimi. Garų cilinderis aprūpintas garų padalijimo dėžute, kurioje slankioja tai į vieną, tai į kitą pusę, atlikdamas paprastus harmoningus svyravimus, ypatingos konstrukcijos vožtuvėlis (garų padalytojas), kuris įleidžia garus tai iš vienos pusės cilinderio stumeklio, tai iš antros pusės. Tokiu būdu tolydinis garų veikimas virsta stumeklio paprastu harmoningu svyravimu. Kad tai būtų atsiekta, reikia atatinkamai, su pagalba tam tikros transmisijos, suderinti stumeklio svyravimai ir vožtuvėlio svyravimai, taip kad stumeklis svyruodamas sudarytų vožtuvėlio svyravimus, o tie svyravimai palaikytų stumeklio svyravimus. Nuo plautelio siūlo visą laiką eina srovė elektronų į anodą iš batarejos B_2. Tai atatinka garų srovę. Del tam tikro sujungimo plautelio anodo ir žiogrelio tinklų batarejos energija, kitaip sakant, srovė iš batarejos, sudaro srovės oscilacijų žiogrelio tinkle, kurios iš savo pusės sudaro oscilacijų anodo tinkle. O tos pastarosios vėl palaiko oscilacijas žiogrelio tinkle ir t. t.

Dar didesnė analogija su sujungimu plautelio tolydinėms neslopinamoms bangoms gaminti duoda šis pavyzdys. Paimsime paprastą magnetotelefoną ir mikrofoną su

anglies grūdeliais. Sudarysime iš jų ir iš dviejų trijų akumulatorių elektros tinklą (žiūr. 21§). Atkreipsime telefono plokštelę į mikrofono plokštelę. Tad telefono plokštelė visą laiką, kol veiks batareja, duos muzikos toną. Dalykas tas, kad kambary, kuriame sudaryta šita kombinacija, visuomet yra šiokių tokių triukšmų, nors ir silpnų. Šitie triukšmai sudaro mikrofono plokštelės vibracijų ir tuo patim indukcijos kintamųjų srovių vieloje, jungiančioje telefoną su mikrofonu ir, vadinasi, telefono špulėje. Šita indukcijos kintamoji srovė superponuojasi ant tolydinės srovės, kuri eina iš batarejos per telefono špulę, ir sudaro vibracijų telefono plokštelės tokio dažnumo, kaip vibracijos mikrofono plokštelės. Šitos telefono plokštelės vibracijos sudaro iš savo pusės kintamąją indukcijos srovę, kuri palaiko ir stiprina vibracijas mikrofono plokštelės, kurios vėl veikia telefono plokštelę kaip jau pasakyta ir t. t. Čia mes turime panašių dalykų, kaip termioniškam plautelyje. Turime tolydinę srovę iš batarejos per telefono špulę, kaip plautelyje turime tolydinę srovę elektronų nuo siūlo į anodą iš batarejos. Turime kintamąją srovę telefono ir mikrofono tinkle del vibracijų mikrofono plokštelės, sudarytų kambario triukšmais. Plautelyje turime oscilacijų anodo tinkle, kurios sudaro oscilacijų žiogrelio tinkle, o tos palaiko oscilacijas anodo tinkle ir t. t.

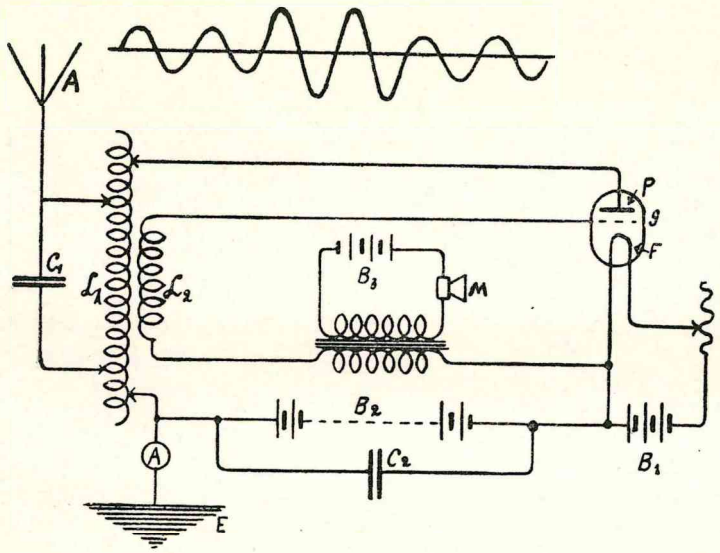
Grįšime dabar prie 335 piešinio. Iš antenos išeina tolydinė eilė elektromagnetinių bangų. Tegu tos bangos tam tikram atokume pasiekia anteną priėmimo stoties. Paprasčiausią schemą tokios priėmimo stoties duoda 336 piešinys. Bangos, kurios pasiekia anteną, vadinasi bangomis nešėjais. Jos pasiekia anteną nusilpnintos, nes bangų amplitūda yra atvirkščiai proporcinga atokumui nuo bangų židinio (žiūr. „Bangų Mokslo“ 6 §, 60 pusl.). Bet jos pasiekia anteną priėmimo stoties kaipo tolydinės bangos. Antenoje mes turime saviindukcijos špulę P, kuri prijungta prie plokštės, įleistos į žemę E. Šita špulė padeda suderinti antenos natūralinį dažnumą su dažnumu, pasiekiančiu ją bangų nešėju. Šita antenos špulė P yra pirminė transformatoriaus špulė, kurio antrinė špulė S sudaro tinklą su paprasto Flemingo plautelio V anodu (be žiogrelio) ir su akumulatorių batareja B. Į šitą tinklą įterptas telefonas T. Siūlas prijungtas prie batarejos, kaip rodo piešinys, ir srovė tame siūle reguliuojama reostatu iš dešinės pusės. Be to, antrinė transformatoriaus špulė S šuntuota kondensatorium C, kurio talpumas galima keisti žiūrint reikalo (tai pažymėta iešma per kondensatorių). Šituo kondensatoriumi suderinamas dažnumas špulės S su dažnumu bangų-nešėju, pasiekiančiu anteną. Bangos-nešėjai, kadangi jos pasiekia anteną nusilpnintos, sudaro didelio dažnumo bet silpnas oscilacijas špulėje P. Šitos oscilacijos indukuoja tokio pat didelio dažnumo, bet jau stipresnės oscilacijos špulėje S. Tokiu būdu tinkle iš špulės S ir kondensatoriaus C susidaro didelio dažnumo kintamoji srovė. Bet šitos kintamosios srovės tik tokios dalys bus praleistos per plautelį V, kurios užtaisys plautelio anodą teigiamai, nes tik tokiomis sąlygomis galimas bus sriautas elektronų iš siūlo į anodą ir, vadinasi, galima bus teigiama srovė iš anodo į siūlą per anodo tinklą ir įterptą į tą tinklą telefoną. Taigi, telefone mes turėsime nuolatinę srovę tam tikros krypties, ir todel telefonas neveiks. Jis tiktai duos garsą uždarant šitą srovę ir pertraukiant ją (tiktelės). Vadinasi, aprašytos čia tolydines elektromagnetinės bangos, pasiekusios anteną priėmimo stoties, sudarys tik nuolatinę srovę telefone, nes plautelis V pavers didelio dažnumo kintamąją srovę nuolatine srove. Bet užtat mes dabar galėsime naudotis tokiu telefonu garsams gaudyti, nes čia per telefono špulę eis taip pat nuolatinė srovė, kaip ji eina per telefono špulę, prijungtą prie batarejos. Reikia tik dabar atatinkamai pakeisti konstrukcija aparatūros padavimo stotyje.



336 pieš.

Schema padavimo stoties kalbos perdavimui atvaizduoja 337 piešinys. Mes čia vėl turime trijų elektrodų plautelį, arba audioną. Plautelio anodo P išorinis tinklas

sudarytas iš eilės: anodo P, saviindukcijos špulės L_1, didelės akumulatorių batarejos B_2 ir siūlo F. Anodas P turi būti prijungtas prie + polio batarejos B_2, o — polis tos batarejos turi būti prijungtas prie siūlo F. Batareja B_2 šuntuota kondensatorium C_2. Tasai kondensatorius reikalingas čia tam, kad anodo tinkle galėtų susidaryti oscilacijų. Siūlas F penimas srove iš nedidelės akumulatorių batarejos. Ta srovė reguliuojama tam tikru reostatu. Prie špulės L_1 prijungta antena A ir į tą anteną įterptas kondensatorius C_1. Kondensatorius ir antena prijungti prie špulės šuntu. Šitas kondensatorius reikalingas tam, kad su jo pagalba ir su pagalba špulės L_1 galima būtų suteikti oscilacijoms reikalingo dažnumo. Be to, prie špulės L_1 iš apačios prijungtas karščio ampermetras A, kuris iš vienos pusės yra prijungtas prie batarejos B_2, o iš antros pusės prie plokštės, įleistos į žemę E. Tasai ampermetras rodo srovę (vidutinišką) antenoje. Žiogrelio G tinklas yra sudėtas iš žiogrelio G, iš saviindukcijos špulės L_2 ir iš antrinės špulės nedidelio induktoriaus arba transformatoriaus J. Tos špulės galas prijungtas prie siūlo F. Pirminė špulė induktoriaus J sudaro dalį tinklo sudaryto iš mikrofono M (anglies grūdelių mikrofonas) ir iš nedidelės akumulatorių batarejos. Atkreipsime dėmesį į tai, kad šita schema yra visiškai panaši į schemą 335 piešinio, tuo tik skirtumu, kad į žiogrelio G tinklą čionai įterptas mikrofono tinklas. Taigi, neveikiant mikrofonui, iš šitos schemos antenos A skleidžiasi tolydinės elektromagnetinės bangos, tokios pat, kaip 335 piešiny parodytos. Tai yra, didelio dažnumo bangos. Bet, jeigu mes kalbėsime į mikrofono mundštuką M, tai mes sudarysime srovės variacijų pirminėje induktoriaus J špulėje, o šitos srovės variacijos sudarys tokio pat dažnumo, bet žymiai stipresnės srovės variacijų antrinėje induktoriaus J špulėje. Dažnumas tų variacijų bus kaip tik toks, kokį turi garsai, paduodami į mikrofono mundštuką M. Vadinasi, mes turėsime, sulyginti, nedidelių dažnumų srovės variacijų. Šitos srovės variacijos prisidės prie tolydinių neslopinamų variacijų, kurias sudaro plautelio sistema, ir kaipo išdava tokios superpozicijos, mes gausime antenoje didelio dažnumo oscilacijų, bet tų oscilacijų amplitūdos tai didės, tai mažės. Tokiu būdu elektromagnetinės bangos, kurios išeis iš antenos A, bus tolydinės, bet bus pažymėtos amplitūdos periodinėmis variacijomis. Tų amplitūdos variacijų dažnumas visai atatiks dažnumą garsų, paduodamų į mikrofoną. Šitos bangos parodytos 337 piešiny, kaipo išeinančios iš antenos A. Jos pasiekia anteną priėmimo stoties (žiūr. 336 pieš.) atnešdamos su savim garsus amplitūdos variacijų pavidalu. Todel tos bangos vadinamos bangomis-nešėjais. Priėmimo stoties plautelis V anuliuoja, sakysime, apatines dalis tų bangų (žemiau ašies) ir praleidžia tik viršutines dalis, arba atbulai. Vadinasi, paprastas Flemingo plautelis P paverčia šitas didelio dažnumo oscilacijas nuolatine srove, kurios stiprumas tai didėja, tai silpnėja kaip tik tokiu tempu, kuriuo vibruoja mikrofono plokštelė įtakoje veikiančių ją garsų. Todel prie nuolatinės srovės per telefoną T priėmimo stotyje prisideda nuolatinės krypties srovė, bet kintamojo stiprumo, ir todel telefono plokštelė vibruoja tuo pačiu dažnumu kaip mikrofono plokštelė padavimo stotyje. Pažymėtais čia fonomenais remiasi bevielis telefonas.



337 pieš.

Pridursime čia tik dar, kad, jeigu šiandien galima paprastu būdu, tam tikru sujungimu termioniško plautelio - audiono, gaminti elektromagnetinės bangos didelio dažnumo ir tolydinės, ir įvairinti šitas dažnumas kaip norint, ir, toliau, jeigu galima amplifikuoti išdėstytu būdu oscilacijos, tai ant mūsų žemės nebėra ribų, per kurias negalima būtų paduoti ir priimti, be jokių vielų, telegrafo ženklų arba kalbos, arba muzikos ir dainos. Del didelių atokumų reikia turėti stotis galingų elektros energijos išteklių ir, vadinasi, penėti plautelio anodo tinklas nuolatine srove labai augšto įtempimo ligi keleto tūkstančių voltų. Gauti nuolatinę srovę tokio augšto įtempimo padeda vėl tas pats nuostabus termioniškas plautelis. Lengvai ir paprastu būdu, kaip jau mes žinome (žiūr. 22 §), galima pagaminti kintamoji srovė augšto įtempimo. Su pagalba paprasto dvielektrodinio plautelio (žiūr. 336 pieš.) šita kintamoji srovė galima paversti nuolatinės krypties srove to paties augšto įtempimo, panaikinus, sakysime, neigiamąsias kintamosios srovės sinus linijų dalis. Bet, paėmus antrą tokį pat dvielektrodinį plautelį, ir atatinkamai jį prijungus, galima bus panaikinti teigiamos dalys sinus linijų kintamosios srovės ir, vadinasi, praleisti tik neigiamos dalys kaipo srovę nuolatinės krypties. Vadinasi, galima suderinti du dvielektrodiniai paprastieji plauteliai taip, kad jie sudarys umformerį (žiūr. 22 §), kuris pavers didelio įtempimo kintamąją srovę nuolatinės krypties srove tokio pat įtempimo. Todel galima iš stoties paleisti didelio dažnumo ir didelės energijos elektromagnetinės bangos, kurios gali pasiekti labai toli. Ir šitokiais aparatais galima aprūpinti ir garlaivis, ir traukinys, ir aeroplanas. Taigi, iš bet kurios vietos ant žemės, ar judomos ar nejudomos, galima susisiekti su bet kuria kita vieta. Paliesti radio - telegrafo ir radio - telefono smulkmenų neleidžia šito skyriaus ribos. Kas nori su tomis smulkmenomis susipažinti, lengvai suras atatinkamų populariai parašytų vadovėlių anglų, prancūzų, vokiečių ir rusų kalbomis. Iš savo pusės nurodysime čionai vieną geriausių tokių vadovėlių, kuris parašytas angliškai išradėjo termioniško plautelio — J. Flemingo: „Electric waves, Electrons and Radio - telegraphy“ (Elektriškos bangos, elektronai ir radio telegrafija).

Pabaigsime šitą paragrafą žodžiais prof. J. Flemingo, termioniško plautelio išradėjo: „Bevielis telefonas yra vienas iš nepaprastai įdomių mokslo išradimų. Išsiplėtimas šito aparato yra tikra mokslo apiburta pasaka, kurioje įstabusis termioniškas plautelis užima Aladino lempos vietą. Tasai plautelis panaikina erdvę ir padaro iš žemės rutulio vieną milžinišką auditoriją, kurioje vieno žmogaus balsas tuo pačiu laiku veikia, ar geram, ar blogam, tūkstančių tūkstančiams klausytojų. Tai sudaro naują galingą veiksnį dabarties gyvenime, kurio vaisiai galutinai paaiškės tik ateityje“.

Tikra tiesa! Bet toji užburtoji Aladino lempa gal dar daugiau mums padės. Gal su jos pagalba, jeigu ir negalės mūsų ausis išgirsti dangaus muzikos, gaudysime ateityje signalus iš bedugnių erdvės ir susižinosime su protingomis būtybėmis, kurių, tur būti, ne vienoje tik žemėje esama. Ir ši svajonė nėra be pagrindo: atsiminkime tiktai radio - telefono išradimą!

---

25 §. Elektros išlydžiai per praskiestas dujas. Geislerio ir Crookso vamzdžiai. Katodo spinduliai. Spindulių materija. Röntgeno spinduliai, arba X - spinduliai, ir jų prigimtis. Neigiamos elektros atomai. J. J. Thomsono, Wilsono ir kitų darbai nustatant elektros įlydį ir masę elektronų. Anodo arba teigiami spinduliai. Teigiamų spindulių analizė. Izotopai. Protonas.

21 — 24 §§ mes matėme, kad, išradus Faraday'ui 1831 metais elektromagnetinę indukciją, iš to išradimo, kaip iš pasakiško prabangos rago, pasipylė visa eilė kitų išradimų ir pritaikinimų, turinčių didžiausios reikšmės mokslui ir technikai. Šitame paragrafe mes pasipažinsime irgi su visa eile didelių išradimų mokslo srityje, padarytų

paskutiniais metais XIX amžiaus ir pradžioje XX amžiaus. Šitie išradimai surišti iš vienos pusės su Faraday'aus išradimu elektrolizės dėsnių, apie kuriuos buvo kalbama 15 §, ir su jo išradimu elektromagnetinės indukcijos, lygiai kaip ir su jo pažiūromis į elektros ir materijos prigimtį ir į elektros jėgų veikimą.

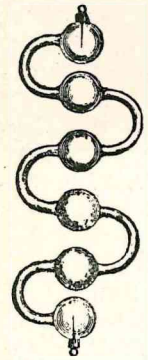
Einant Faraday'aus elektrolizės dėsniu buvo sukurta elektrolizės teorija, kuri priima buvimą elektriškai užtaisytų dalelių arba jonų elektrolitų tirpaluose ir aiškina elektros judėjimą elektrolituose jonų judėjimu. Einant šita teorija, elekrolitų elektros laidumas yra elektros konvekcija jonais. Tuo pačiu laiku, kada buvo daromi elektrolitų laidumo tyrinėjimai, visa eilė fizikų nagrinėjo dujų elektros laidumą. Esant normaliam spaudimui visos dujos yra elektros izolatoriais ir labai silpnai leidžia elektrą. Reikalingas labai didelis elektros įtempimas, kad prasidėtų elektros judėjimas ore arba, aplamai, dujose normalinio spaudimo, ir tokiomis sąlygomis tasai elektros judėjimas, arba elektros išlydis, reiškiasi kibirkštimi. Vadinasi, labai didelis elektros įtempimas suteikia dujoms laidumą esant normaliam tų dujų spaudimui. Įtempimas reikalingas tam, kad susidarytų kibirkštis, ir santykis tarp įtempimo ir kibirkšties ilgio trumpai paliesti 9 § ir ten jau pažymėta, kad didelis elektriškas įtempimas, vadinasi, stiprus elektriškas laukas, lygiai kaip ir stiprus magnetinis laukas sudaro ionus dujose ir tokiu būdu suteikia dujoms laidumą. Taigi, elektros išlydis dujose arba elektros srovė dujose yra konvekcijos srovė, nelyginant kaip elektrolituose: elektra slenka su ionais. Kada tarp dviejų konduktorių, užtaisytų elektriškai, vienas teigiamai, o antrasis neigiamai, susidaro pakankamai jonų, tada tik prasideda išlydis kibirkštimis. Dujų sritis, kibirkšties pramušta, darosi jau geras elektros laidininkas todel, kad kibirkštis smarkiai išjudina dujų molekulas. Dujų molekulos kibirkštys pakeliui dažnai susiduria, ir, kaipo išdava tokio didesnio susidūrimų skaičiaus, susidaro daugiau jonų dujose, ir jų laidumas didėja. Todel ypatingai sunku dujose susidaryti pirmajai kibirkščiai, pirmajam elektros judėjimui, o jau tolimesnis elektros judėjimas eina lengviau, kitos kibirkštys susidaro lengviau.

Yra visa eilė kitų veiksmų, kurie suteikia elektrišką laidumą dujoms normalinio spaudimo, kaip antai, chemiškos reakcijos, ypač degimo procesas, kaitinimas kietų kūnų, ypač metalų, veikimas ultra — violetinių spindulių kai kuriuos metalus ir, kaip mes vėliau pamatysime, veikimas Röntgeno spindulių ir radioaktingų medžiagų. Visais tokiais atvejais, kaip ir veikiant stipriam elektriškam laukui, dujos ionizuojasi ir todel darosi gerais elektros laidininkais. Bet, aplamai, dujų laidumas, esant normaliam spaudimui, lygiai kaip ir kibirkšties fenomenas, yra itin painus dalykas ir toli gražu neišaiškintas dar ir šiandien. Faktiška šito dalyko pusė išdėstyta 9 §. Čia pridursime tik, kad Ohmo dėsnis išlydžiams per dujas neveikia. Veikiant nedideliems įtempimams tarp dviejų užtaisytų priešingai laidininkų, iš pradžios vyksta tamsus išlydis. Didėjant įtempimui dujos ima šviesti, ir prasideda išlydis spurgais. Pasiekus pakankamą įtempimą, išlydis vyksta kibirkštimis, kurios pagaliau tam tikromis sąlygomis virsta tolydinių išlydžių šviesos lanko pavidalu. Tad voltažas smarkiai krinta, o srovė smarkiai kįla. Ionizuojant dujas tarp dviejų priešingai užtaisytų elektrodų, iš pradžios srovė auga proporcingai voltažui, bet paskui, didinant voltažą, nebekinta. Mes turime tada vadinamą sočią srovę. Didinant atokumą tarp elektrodų šita soti srovė auga, tuo tarpu elektrolituose ji krinta tomis pačiomis sąlygomis.

Prastesnių santykių ir aiškesnį vaizdą mes turime tada, kada elektros išlydžiai vyksta dujose praskiestame padėjime, vadinasi, esant nedideliems spaudimams. Tyrinėjimai elektros judėjimų praskiestose dujose, pradėti dar pirmoje pusėje XIX amžiaus, davė labai įdomių vaisių, ir todel mes panagrinėsime čia šitą procesą kiek smulkiau.

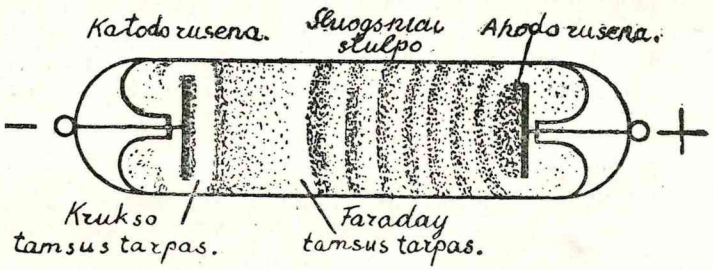
Paimsime stiklo vamzdį, aprūpintą iš abiejų galų dviem elektrodais iš aluminio, ir prijungsime tuos du elektrodus vielomis prie polių antrinės špulės Rumkorfo induktoriaus. Prie tam tikro atokumo tarp elektrodų eis triukšmingas elektros išlydis kibirkštimis. Evakuojant orą iš vamzdžio, ir pasiekus spaudimą mažesnį, kaip pusę atmosferos, tarp elektrodų vamzdyje susidaro siaura, šviesi, graži juosta, ir elektros išlydis darosi tylus. Šita juosta ore yra violetinės — raudonos spalvos, kitose dujose ta juosta turi įvairių spalvų, pavyzdžiui: vandenilyje ta juosta raudona. Sumažinus dar kiek spaudimą, sakysime ligi 1 —3 atmosferų, juosta darosi platesnė, ir ji galima smarkiai

ištempti tolinant elektrodus vamzdyje vienas nuo antro. Pagaliau, pasiekus spaudimą apie keletą m/m. gyvojo sidabro stulpo, išlydis užpildo visą vamzdį. Visas vamzdis šviečia, ir ta šviesa turi spalvą, charakteringą paimtoms dujoms. Vamzdis su tokiu oro, arba dujų, praskiedimo laipsniu, vadinasi Geislerio vamzdis, nes Geisleris pirmutinis konstatavo tokį išlydį ir ėmė gaminti panašių vamzdžių. Geislerio vamzdžiui galima priduoti įvairių įvairiausių formų, išlenkti jis, sakysime, taip, kaip rodo 338 piešinys.



338 pieš.

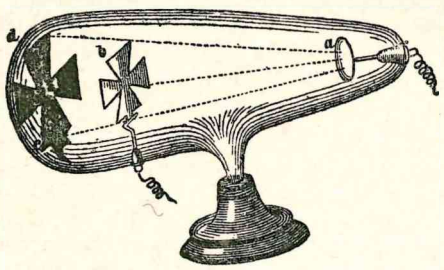
Elektros išlydis eina per visus vingius, per visus vamzdžio išlenkimus, pradedant nuo anodo, katodo link. Tokie Geislerio vamzdžiai labai patogūs įvairių dujų ir garų spektrams nagrinėti, nes, vykstant elektros išlydžiams, tokiuose vamzdžiuose jie duoda spektrų, charakteringų esančioms vamzdyje dujoms (žiūr. „Šviesos" 8 §, 106 — 110 pusl.). Jau ir tokiam Geislerio vamzdyje galima pastebėti kai kuriuos skirtumus išlydžio anodo srityje ir katodo srityje. Katodo paviršius visuomet būna apsuptas šviesos vainiku. Tarp šito šviesos vainiko ir paties katodo galima pastebėti nedidelis tamsus tarpas. Patsai katodas, tarytum, rusena (neigiama katodo rusena). Nuo anodo tęsiasi šviesos sluogsnis, atskirtas nuo katodo šviesos vainiko irgi tamsiu tarpu. Pirmutinis tamsus tarpas tarp katodo ir šviesos vainiko vadinasi Crookso tamsus tarpas, o antras tamsus tarpas tarp šviesos vainiko ir šviesos stulpo, kuris išeina iš anodo, vadinasi Faraday'aus tamsus tarpas. Abudu šitie tarpai darosi ryškesni, lygiai kaip ir skirtumas tarp išlydžio anodo ir katodo srityje, pasiekus praskiedimą apie 0,5 — 0,1 mm. gyvojo sidabro stulpo, t. y. apie $\frac{1}{1520} - \frac{1}{1600}$ atmosferos spaudimo. 339 piešinys atvaizduoja Geislerio vamzdį su tokiu praskiedimu. Tarp katodo (—) ir jo šviesos vainiko mes turime čia jau žymiai padidėjusį Crookso tamsų tarpą. Patsai katodas rusena smarkiau. Iš anodo (+) pusės katodo link tęsiasi šviesos stulpas, kuris vienok nepasiekia katodo. Tarp šito šviesos stulpo ir katodo šviesos vainiko mes turime irgi jau žymiai išsiplėtusį Faraday'aus tamsų tarpą. Charakteringa, kad tas anodinis šviesos stulpas arba teigiamas šviesos stulpas neužpildo viso vamzdžio nei išilgai nei skersai ir atskirtas, tiesa, nedideliu tarpu nuo vamzdžio sienų. Tarytum, prie nurodyto praskiedimo laipsnio nebepakanka įtempimo, kad šitą anodinį šviesos stulpą galima būtų ištempti ligi katodo. Bet ypatingai charakteringa sluogsninė struktūra šito anodinio šviesos stulpo. Tasai stulpas susideda iš eilės šviesesnių ir tamsesnių sluogsnių. Manoma, kad šitie sluogsniai yra tos stulpo vietos, kuriose ypatingai smarkiai vyksta dujų ionizacija ir rekombinacija ionų (atkalas susijungimas ionų į neutrales molekulas). Pagaliau, visas šitas šviesos stulpas dreba, virpa (vibruoja). Aplamai, išlydis Geislerio vamzdyje prie nurodyto praskiedimo laipsnio savo gražumu ir savo vibracijomis smarkiai primena šiaurės šviesą (Aurora Borealis).



339 pieš.

Pasiekus praskiedimą apie 0,01 m/m. ir mažiau (t. y. apie $^1/_{76000}$ atmosferos ir mažiau), vaizdas griežtai kinta. Teigiamas šviesos stulpas visiškai išnyksta, tarytum, jam nebeužtenka vietos vamzdyje, nes Crookso tamsus tarpas išsiplečia tiek, jog užima visą vamzdį. Tiktai konturai to Crookso tamsaus tarpo šviečia. Taigi, vamzdis vidury nebereiškia šviesos. Užtat smarkiai šviečia gražia žalia arba mėlyna šviesa vamzdžio stiklas, ypač tose vietose, kur tą stiklą pasiekia Crookso tamsus tarpas. Tada kalbama apie stiklo fluorescenciją, ir tos fluorescencijos spalva pareina nuo stiklo sudėties. Taip, natrio stiklas šviečia gražia žalia šviesa, o švino stiklas gražia mėlyna šviesa. Tyrinėjimus

elektros išlydžių prie praskiedimų apie 0,01 m/m. ir mažiau darė Crooksas 1885 — 1887 metais, ir todel vamzdžiai su tokiais praskiedimais vadinasi Crookso vamzdžiai. Crooksas įrodė, kad, pasiekus šituos praskiedimo laipsnius, katodinis išlydis visiškai maskuoja anodinį išlydį. Iš katodo išeina tamsūs (neveikią akies) spinduliai, kurie pasklinda į visas puses tiesiomis linijomis. Kur tie spinduliai pasiekia stiklą arba kitą kokią medžiagą, jie sudaro fluorescenciją. Jeigu pakeliui tų spindulių pastatytume korundo gabaliuką, tai tasai gabaliukas šviečia gražia purpurine šviesa. Cinko sulfatas, paliestas šitais tamsiais katodo spinduliais, šviečia skaidriai mėlyna šviesa. Kad čia mes iš tikrųjų turime spindulius, kurie eina tiesiomis linijomis, galima matyti iš to, kad susidaro šešėliai padėjus pakeliui šitiems spinduliams kokį nors nepraleidžiantį šitų spindulių kūną. 340 pieš. atvaizduoja tokį Crookso arba katodo vamzdį. Čia katodas a yra nedidelis aliuminio skritulys, prijungtas prie platinos stiebo, įlydyto į stiklą. Anodas parodytas iš apačios, t. y. paprastai įlydyta į stiklą platinos viela. Aplamai, kaip mes žinome, elektros judėjimas eina tarp anodo ir katodo. Tuo tarpu katodo spinduliai išeina iš katodo paviršiaus ir išsiskirsto į visas puses tiesiomis linijomis visiškai nepriklausomai nuo to, kur randasi anodas. Anodą galime dėti bet kurioje vietoje katodo vamzdžio ir tai nepakeis katodo spindulių sklidimo, kaip jį rodo 340 piešinys. Tie katodo spinduliai pasiekia bukų vamzdžio galą ir sudaro ten gražią žalią stiklo fluorescenciją. Padėjus jiems pakeliui metalinį kryžių b ant bukaus katodo vamzdžio galo d, pasirodo tamsus kryžius, šešėlis. Pavertus kryžių b ant bukaus katodo vamzdžio galo, kurį laiką matyti šviesesnis žalias kryžius. Tarytum, šita stiklo dalis, apginta nuo veikimo katodo spindulių vertikaliai pastatytu kryžiumi b, pasilsėjo, ir todel, apvertus kryžių gulsčia būkle, šviečia žalia šviesa smarkiau, kaip kitos stiklo vietos ant bukaus vamzdžio galo d.



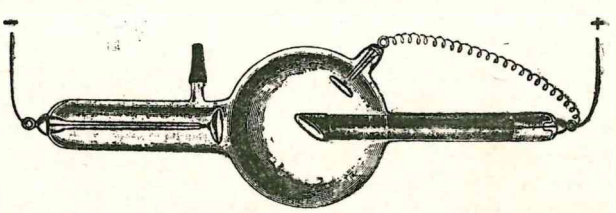
340 pieš.

Toliau Crooksas įrodė, kad šitie spinduliai turi kinetinės energijos. Vamzdyje 340 piešinio galime ištiesti stiklinius bėgius ir ant tų bėgių padėti lengvą cilinderį su sparnais. Įtakoje katodo spindulių šitas cilinderis rieda. Vadinasi, katodo spinduliai turi momentą ir, sudavę į sparnus, suteikia jiems greitumo. Padėjus šitems spinduliams pakeliui platinos plokštelę, ji įkaista ligi baltos šviesos. Iš šitų bandymų Crooksas padarė išvadą, kad jo išrasti tamsūs spinduliui yra sudėti iš smulkiausių materijos dalelių, smulkesnių kaip atomai, kurios slenka dideliais greitumais tiesiomis linijomis ir todel turi didelės kinetinės energijos, nepaisant jų mažos masės. Taigi, bombarduojant toms dalelėms platinos plokštelę, jų kinetinė energija virsta šilima. Pagaliau, Crooksas įrodė, kad šitos dalelės užtaisytos neigiama elektra. Veikiant magnetiniu lauku tos dalelės atsilenkia nuo savo tiesialinių trajektorijų tokia kryptimi, kaip atsilenkia magnetiniam lauke laidininkas, per kurį eina neigiamos elektros srovės. Padėjus viršuj vamzdžio 340 pieš. teigiamai užtaisytą metalinę plokštelę, o apačioje vamzdžio neigiamai užtaisytą, katodo spinduliai atsilenkia augštyn. Vadinasi, jie yra teigiamos plokštelės traukiami ir neigiamos plokštelės stumiami. Crooksas manė, kad, išradęs šituos spindulius, jis išrado visiškai naują padėtį materijos ir todel jis pavadino juos spindulių materija. Jis buvo įsitikinęs, kad jam pasisekė surasti toji pagrindinė materija, iš kurios sudaryti visi cheminiai elementai. Mes vėliau pamatysime, kad jo įsitikinimas turėjo rimtą pamatą.

Tolimesnis katodo spindulių nagrinėjimas privedė prie labai svarbių išradimų. Pasirodė, kad katodo spinduliai prasiskverbia per plonus sluogsnius kai kurių medžiagų, ypatingai aluminio. Todel Heydelbergo fizikas Lenard'as, aprūpinęs katodo vamzdį langeliu iš aluminio, išvedė, taip sakant, tuos spindulius iš katodo vamzdžio į orą ir konstatavo, kad jie ionizuoja orą ir net sudaro oro fluorescenciją. Bet, aplamai, juos smarkiai absorbuoja oras ir kitos medžiagos, ir išėję pro aluminio langelį iš katodo vamzdžio, jie prasiskverbia ore ne toliau kaip per 2 cm..

1894—1895 metais Würzburgo universiteto fizikas profesorius Röntgenas irgi tyrinėjo katodo spindulius, išleisdamas juos pro aluminio langelį į orą. Kad vamzdžio stiklo žalia fluorescencija netrukdytų sekti efektus katodo spindulių ore, Röntgenas apvyniojo savo vamzdį juodu popierium ir keletą sykių pastebėjo, kad pripuolamai padėtas vamzdžio apačioje fluorescencijos ekranas (popieriaus lapas arba kartonas, kurio paviršius apklotas plonu sluogsniu barioplatincyanato - $BaPt(CN)_6$—žalsvai geltona druska) šviečia einant elektros išlydžiui katodo vamzdyje. Taip pat jis pastebėjo, kad toksai katodo vamzdis, apvyniotas juodu popierium, veikia fotografinę plokštelę net ir tada, kada tokia plokštelė randasi kasetėje. Vadinasi, iš katodo vamzdžio kažkas išeina, kad pereina per popierių ir per medį ir veikia fotografinę plokštelę. Pirmi Röntgeno pastebėjimai, kaip jau pasakyta, buvo padaryti pripuolamai, atliekant tam tikrus bandymus su katodo spinduliais. Bet paskui jis jau atkreipė ypatingą dėmesį į pastebėtus reiškinius, ir, pagaminęs katodo vamzdį su smarkiai praskiestomis dujomis ligi 0,001 m/m., Röntgenas išrado naują radiacijos rūšį, naujus nematomus spindulius, kuriuos jis iš pradžios pavadino X-spinduliais, turėdamas galvoje neištirtą tų spindulių prigimtį. Apie šitą savo išradimą ir apie jo konstatuotus X-spindulių ypatumus jis paskelbė 1895 metais. Tai yra data išradimo šitos radiacijos, kuri paskui pasirodė labai reikšminga ir mokslui ir praktikai. Röntgenas konstatavo, kad X-spinduliai susidaro ten, kur į katodo vamzdžio stiklą suduoda katodo spinduliai, vadinasi, kur tas stiklas ypatingai smarkiai reiškia fluorescenciją. Taigi, iš stiklo tose vietose kartu su žaliais arba mėlynais fluorescencijos spinduliais išeina nematomi, bet veikiantieji fluorescencijos ekraną ir fotografinę plokštelę X-spinduliai. Tie spinduliai susidaro juo gausiau, juo didesnis praskiedimo laipsnis katodo vamzdžio ir juo didesnis įtempimas tarp antrinių bornų Rumkorfo induktoriaus. Paskui Röntgen'as ir kiti konstatavo, kad X-spinduliai susidaro daug lengviau ir gausiau suduodant katodo spinduliams į kai kuriuos metalus, ypač platiną ir kitus brangiuosius metalus. Nuo metalo paviršiaus, kurį veikia katodo spinduliai, išeina tada gausiai X-spinduliai didelio intensingumo.

Tobulindamas katodo vamzdžius, norėdamas gauti didesnio intensingumo X-spindulių (tai yra, kad gautų daugiau tų spindulių), Röntgenas pakeitė katodo vamzdžio konstrukciją ir suteikė jam atatinkamą formą, kuri nuo to laiko žinoma Röntgeno vamzdžiu. 341 piešinys atvaizduoja tokį vamzdį. Mes čia turime stiklo rutulį nuo 0,5 litro ligi 2 litrų talpumo su šoniniais vamzdžiais. Oras iš tokio rutulio turi būti evakuotas kiek galint smarkiau — ligi $^1/_{1000}$ dalies m/m. ir dar mažiau. Šiandien gaminami Röntgeno vamzdžiai su praskiedimo laipsniu ligi 0,0001 dalies m/m. Į cilinderinę atšaką iš kairės pusės piešinio įdėtas su pagalba platinos aluminio skrituliukas. Tai bus katodas (jis pažymėtas piešiny ženklu —/.



341 pieš.

Tam aluminio skrituliukui arba aluminio apskritai plokštelei dažniausiai suteikiama forma sferinio gaubto paviršiaus, kad galima būtų suvesti į foką išeinančius iš jo paviršiaus katodo spindulius. Iš viršaus rutulio į trumpesnį šoninį vamzdį irgi su pagalba platinos vielos įlydytas anodas pavidalu apskritos aluminio plokštelės. Pagaliau iš diametringai priešingos pusės katodui randasi vadinamas antikatodas, kuris visuomet sujungiamas viela su anodu, vadinasi, veikia kaip anodas ir todel, turint vamzdyje antikatodą, galima juo pasinaudoti kaipo anodu ir galima apsieiti be trečios plokštelės. Antikatodo uždavinys būti židiniu X-radiacijai. Taigi antikatodo galas imamas iš platinos arba vieno iš brangiųjų metalų, galima ir iš vario, ir nupjaunamas, kaip rodo 341 piešinys, nuožulniai, taip kad jo paviršius sudaro kampą 45^0 su gulsčia ir su vertikale kryptimi. Anodas ir katodas prijungiami prie bornų antrinės špulės Rumkorfo induktoriaus. Katodo spinduliai, kurie išeina iš sferiškai gaubto katodo, koncentruojasi ant atikatodo paviršiaus ir sudaro ten X-spindulius, kurie atmušami nuo to paviršiaus

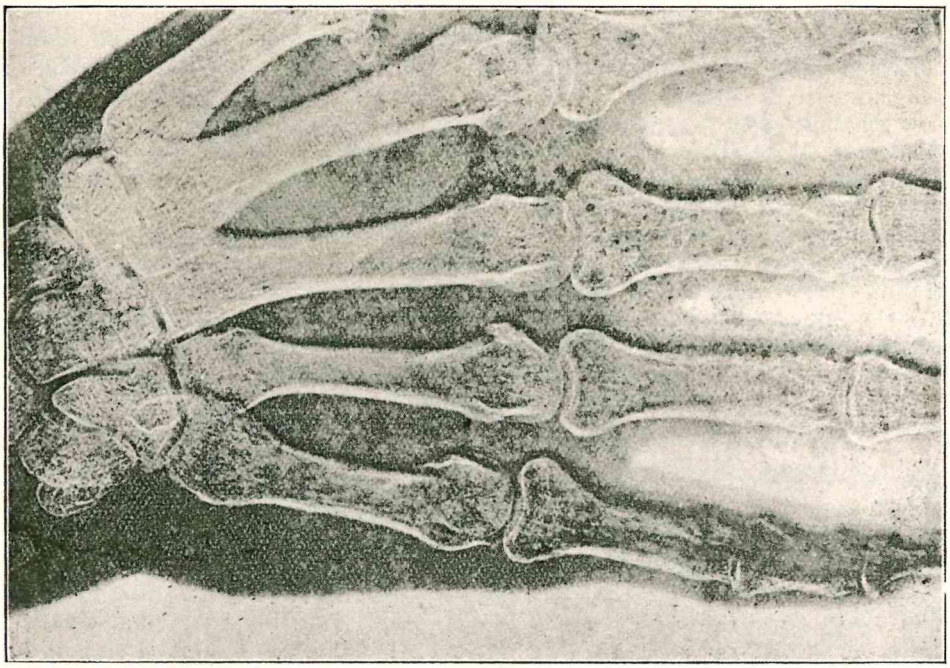
žemyn, taip kad apatinė dalis rutulio yra ypatingai veikli X-radiacijos atžvilgiu. Taigi, ta X-radiacija susidaro čionai bombarduojant katodo dalelėms antikatodą. Todel, veikiant ilgesnį laiką elektros išlydžiui, antikatodas smarkiai įkaista, o tai yra kenksminga Röntgeno vamzdžiui. Kad to būtų išvengta, dažnai antikatodas turi metalinio vamzdžio pavidalą ir tam tikrus prietaisus, kad galima būtų antikatodo vamzdyje sudaryti vandens cirkulacija antikatodui vėsinti. Pagaliau, trumpai paminėsime čia dar vieną ištobulinimą Röntgeno vamzdžio, padarytą Coolidge'o (skaityk Kulidž). Dalykas tas, kad įkaitinti metalai ligi baltos šviesos, ypač wolframas ir platina, gausiai išmeta nuo savo paviršių tokias pat neigiamas įelektrintas daleles, kaip ir katodo spindulių dalelės. Vadinasi, ir šitos dalelės, suduodamos į kietą medžiagą, suduodamos į antikatodą, gimdo X-spindulius. Todel Coolidge padirbo katodą spyruoklio pavidalu iš wolframo arba platinos vielos ir aprūpino tą vielą prietaisais, kad galima būtų ją elektriškai kaitinti, kaip kaitinimo lemputės viela. Taigi, einant elektros išlydžiui per Röntgeno vamzdį, iš tokios įkaitintos vielos gausiai išeina katodo spinduliai, kurie smarkiai veikia antikatodą ir todel sudaro gausią ir intensingą X-radiaciją.

Turint tokį Röntgeno vamzdį galima lengvai susipažinti su X-spindulių ypatumais. Visų pirma X-spinduliai charakterizuojasi tuo, kad jie, sulyginti, lengvai pereina per ne per storus įvairios medžiagos sluogsnius. Aplamai, jų gabumas prasiskverbti per medžiagos sluogsnį yra atvirkščiai proporcingas medžiagos tankumui (labai apytikriai). Taip jie prasiskverbia dar per švino sluogsnį 1,5 mm. storumo ir per aluminio sluogsnį 15 mm. storumo. Vadinasi, jų prasiskverbimas per aluminį yra 10 sykių didesnis kaip per šviną. Turint storesnių už pažymėtus čia metalų sluogsnių, X-spinduliai absorbuojami tais sluogsniais. Kaip jau pasakyta, X-spinduliai sudaro fluorescenciją kai kurių chemijos junginių. Pagaliau, jie smarkiai ionizuoja orą ir dujas. Užtaisytas elektriškai elektroskopas, veikiant netoli nuo jo Röntgeno vamzdžiui, greitai išsilydo. Reikia dar pasakyti, kad yra minkšti ir kieti X-spinduliai. Kieti pasižymi daug didesniu gabumu prasiskverbti per sluogsnius įvairios medžiagos, kaip minkšti spinduliai. Vadinasi, minkšti spinduliai smarkiai įvairių medžiagų absorbuojami. Tie minkšti spinduliai susidaro vamzdžiuose ne per didelio praskiedimo ir veikiant silpnesniems induktoriams. Juo didesnis praskiedimo laipsnis vamzdyje ir juo smarkesnis induktorius, juo kietesni susidaro Röntgeno spinduliai. Kiekvienas Röntgeno vamzdis, veikiant jam ilgesnį laiką, ima duoti kietų spindulių ir net visiškai nustoja veikęs, nes veikiant vamzdžiui dezintegruojasi metalas katodo ir antikatodo ir metalo dalelės pamaži absorbuoja kuone visus dujų likučius Röntgeno vamzdyje taip, jog susidaro gangreit tikras vakuumas. Kad tuo pačiu vamzdžiu galima būtų naudotis ilgesnį laiką, Röntgeno vamzdžiai aprūpinami įvairiais regeneracijos prietaisais. Atvaizduotas 341 piešiniu Röntgeno vamzdis turi tokį prietaisą pavidale trumpo stiklo vamzdžio, į kurį įlydytas paladio stiebelis su vandeniliu (žiūr. iš kairės pusės piešinio, arti nuo rutulio). Galas paladio stiebelio išorėj apgintas nuo mechaniško pagadinimo užmautu ant jo kaučuko maišeliu. Tasai paladio stiebelis turi okliuduotą vandenilį. Vienas kub. cm. paladio gali okliuduoti ligi 1000 cm.^{3} vandenilio (žiūr. „Skysčiai ir Dujos“, 23 §). Taigi, sukietėjus Röntgeno vamzdžiui, kaučuko maišelis nuimamas ir paladio stiebelio galas atsargiai kaitinamas mažute Bunzeno liepsna. Dalis vandenilio išeina tada iš paladio, išsiskleidžia Röntgeno vamzdyje ir tokiu būdu Röntgeno vamzdis darosi vėl minkštesnis ir kurį laiką duoda minkštesnių X-spindulių.

Paimsime fluorescencijos ekraną ir padėsime jį iš apačios Röntgeno vamzdžio (341 piež.). Atkreipus kartono paviršių su fluorescencijos druska nuo vamzdžio, veikiant Röntgeno vamzdžiui patamsėj ekranas šviečia gražia gelsvai žalia šviesa. Padėjus tarp Röntgeno vamzdžio ir ekrano medinę lentą, ekranas taip pat šviečia. Vadinasi, X-spinduliai pereina per medį. Padėjus tarp Röntgeno vamzdžio ir ekrano ranką su ištiestais pirštais (uždėjus ranką ant ekrano), iš kitos pusės mes pamatysime tamsius pirštų kaulus ir čiurnos kauliukus, apsuptus kiek šviesesniais vainikais (žiūr. 342 piež.). Dalykas tas, kad Röntgeno spinduliai silpniau prasiskverbia per didesnio tankumo kaulus ir lengviau prasiskverbia per minkštas dalis rankos, per muskulus ir odą. Vadinasi, kaulai absorbuoja didžiąją dalį spindulių ir todel ant ekrano jie at-

rodo tamsesni, kaip minkštos rankos dalys. Padėjus tarp Röntgeno vamzdžio ir ekrano piniginę su metaliniais pinigais, bus aiškiai matomos monetos pavidalu tamsių skrituliukų ir, aplamai, metalinės piniginės dalys. Taip pat paėmus medinę dėžę su metaliniais daiktais, su pagalba Röntgeno spindulių ta dėžė bus permatoma, ir metaliniai daiktai joje bus aiškiai matomi.

Taigi, Röntgeno spinduliais galima naudotis medicinoje, o ypač chirurgijoje, norint aiškiai pamatyti, kurioje vietoje yra tas arba kitas liguistas patinimas arba koks nors



342 pieš.

kietas pašalinis daiktas, sakysime, kulka. Reikia turėti tik galingas induktorius, didelis ekranas ir geras Röntgeno vamzdis. Nustačius tą ar kitą kūno dalį tarp Röntgeno vamzdžio ir ekrano, galima bus pamatyti kulką, adata arba, aplamai, koks nors kietas pašalinis daiktas, patinimas arba net ir tuberkuliozo bacilų lizdas plaučiuose, nes visos tokios vietos bus didesnio tankumo kaip sveikos kūno vietos ir apsireikš ant fluorescencijos ekrano tamsesnėmis vietomis kaip apylinka. Šiandien medicina plačiai vartoja Röntgeno spindulius diagnozui.

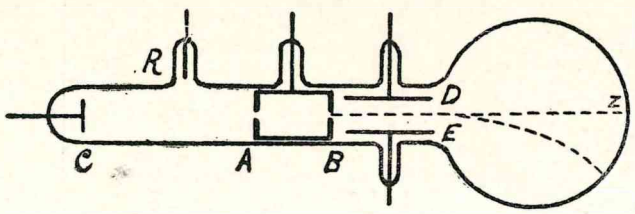
Vietoj ekrano galima naudotis fotografine plokštele ir nufotografuoti tą ar kitą kūno dalį arba tą ar kitą objektą, uždarytą dėžėje. Paėmę, sakysime, fotografinę plokštelę, uždarytą kasėtėje, padėję ant kasėtės ranką, ir veikiant X-spinduliais ranką, mes paprastu būdu gausime rankos kaulų fotografiją. Nesunku suvokti, kad ant pozityvo kaulai atrodys tamsesni kaip muskulai. Pozityvas bus panašus į vaizdą ant fluorescencijos ekrano.

Pagaliau, pabrėšime čia dar, kad Röntgeno spinduliai sudaro fluorescenciją ne tik druskų, bet ir kai kurių mineralų, ypač brangiųjų akmenų, taip kad su jų pagalba galima atskirti lengvai, sakysime, tikrą diementą nuo padirbto diemento. Tikras diementas, veikiant Röntgeno spinduliams, šviečia, tuo tarpu padirbtas diementas nereiškia jokios fluorescencijos.

Dirbant su Röntgeno spinduliais nereikia užmiršti, kad jie yra kenksmingi ir dažnai veikdami sudaro sunkias odos ligas, panašias į raupsus arba į vėžį. Taigi, atliekant tyrinėjimus Röntgeno vamzdžiais, jie laikomi švino kamerose, nes švinas, būdamas

pakankamai storas, visiškai nepraleidžia Röntgeno spindulių. Tose kamerose paliekami tik plyšiai, per kuriuos išleidžiami siauri pluoštai X-spindulių, taip kad eksperimentatorius visuomet gali išvengti jų veikimo. Antra vertus, dabarties medicina mėgina gydyti Röntgeno spinduliais kai kuriuos piktuosius patinimus, kaip, pavyzdžiui, raupsus ir vėžį.

Kai del prigimties šitų X-spindulių, tai ilgą laiką po jų išradimo ta prigimtis buvo neaiški. Röntgenas pats manė, kad šitie spinduliai, kaip ir neveikią akies ultravioletiniai spinduliai, priklauso šviesai. Stokes, sutikdamas su Röntgenu, manė, kad tie spinduliai skiriasi nuo paprastos šviesos spindulių tuo, kad jie sudaromi atskirais pulsais, suduodant katodo dalelėms į antikatodą, o paprasti šviesos spinduliai esą sudėti iš visos eilės tokių pulsų, kurie eina vienas po kito tam tikra tvarka. Taigi, Stokes'o nuomone, X-spinduliai esą sudėti iš atskirų eterio bangų, o šviesos spinduliai — iš tolydinių eilių eterio bangų. Bet visos pastangos įrodyti, kad X-spinduliai sudėti iš bangų, iš pradžios nuėjo niekais. Jų negalima buvo atmušti nuo lygių paviršių. Pereinant iš vieno mediumo į kitą mediumą jie neužlūžta ir, pagaliau, iš pradžios negalima buvo gauti X-spindulių interferencijos, ir polarizuoti juos. Taigi, šviesos prigimtis šitų spindulių buvo abejotina. Iš to fakto, kad jie nematomi ir veikia fotografinę plokštelę, lygiai kaip iš to, kad jie pereidami iš vienos medžiagos į kitą neužlūžta, galima buvo manyti, kad X-spinduliai charakterizuojasi labai trumpomis bangomis, dar trumpesnėmis kaip ultra-violetiniai spinduliai (žiūr. „Šviesos" sk., Sellmeyer'io dispersijos teoriją, 255 — 260 pusl.). Bet, nereiškiant tiems spinduliams interferencijos ir difrakcijos fenomenų, negalima buvo išmatuoti jų bangų ilgio. Antra vertus, praėjus 10 metų po X-spindulių išradimo, E. Marksui pasisekė išmatuoti jų greitumas, kuris pasirodė toks pat kaip šviesos greitumas. Bet galutinai tų spindulių prigimtis buvo nustatyta žymiai vėliau, 1912 — 1914 metais. Apie tai mes kalbėsime šitame paragrafe toliau, o čia pakalbėsime apie kitą svarbų išradimą sąryšy su katodo spinduliais; šitas išradimas sudaro tikrą epochą fizikoje. Mes čia turime galvoje elektrono arba neigiamos elektros atomo išradimą, kurį padarė 1896 metais Cambridge'o universiteto fizikas Juozapas Thomsonas.



343 pieš.

Kaip jau anksčiau pastebėta, katodo spinduliai atlenkiami magnetiniu ir elektrostatiniu laukais taip, kaip atlenkiama neigiamos elektros srovė. Toksai atlenkimas įvyksta tada, kada magnetinis ir elektrostatinis laukas veikia statmenai katodo spindulių krypčiai. Sutiksime su Crooksu, kad tie katodo spinduliai susideda iš atskirų smulkiausių dalelių, užtaisytų neigiama elektra. Pažymėsime šitą neigiamą dalelės įlydį raide e, ir tegu šita dalelė, išlėkus iš katodo, slenka tiesia linija greitumu v. Tad tokios dalelės judėjimas yra ekvivalentingas laidininkui, per kurį eina elektros srovė ev. Jeigu tokį laidininką perkerta statmenai magnetinis laukas, tai susidaro mechaniška jėga, kuri veikia statmenai ir laidininko linijai arba srovės krypčiai ir magnetinio lauko krypčiai. Vadinasi, ta mechaniška jėga stengiasi pasukti laidininką aplink magnetinio lauko linijas. Pažymėsime magnetinio lauko stiprumą raide H. Tad, ta mechaniška jėga yra lygi Hev (žiūr. 20 §). Mes čia laidininko neturime, bet turime neigiamai įelektrintas daleles, slenkančias nuo katodo tiesiomis linijomis. Taigi, šituo atveju machaniška jėga suks šitas neigiamai įelektrintas daleles aplink magnetinio lauko jėgų linijas. Dalelės suksis ratais apie tas linijas.

343 piešinys atvaizduoja J. Thomsono vamzdį, kuriuo jis sekė atlenkimą katodo dalelių nuo jų tiesialinių trajektorijų magnetiniu ir elektrostatiniu laukais. Reikia pasakyti, kad šitie eksperimentai sudarė Thomsonui daug sunkenybių ir galutinai nusisekė tik tada, kada jam pasisekė evakuoti oras iš vamzdžio ligi $^1/_{10000}$ dalies milimetro spaudimo. Taigi, vamzdį su tokiu augštu vakuumu atvaizduoja 343 piešinys. C yra katodas iš

aluminio (plokščias aluminio skritulys, įlydytas į vamzdį su pagalba platinos vielos). R anodas, irgi iš aluminio (stiebo pavidalu). Kad būtų gautas siauras katodo spindulių pluoštas kiek galint panašesnis į liniją, pakeliui katodo spindulių padėti du stori metaliniai skrituliukai A ir B su mažutėmis skylėmis per jų vidurį, taip kad skylė skrituliuko B turi diametrą adatos smailgalio. Abudu šitie skrituliukai A ir B sujungti tarp savęs metališkai ir gali būti prijungti prie žemės per platinos vielą, įlydytą į vamzdį ir prijungtą prie skritulių A ir B. Toliau mes turime dvi metalines plokšteles D ir E, prie kurių prijungtos platinos vielos, įlydytos į vamzdį viršuj ir apačioj. Pagaliau, vamzdis baigiasi didelio talpumo stiklo rutuliu. Jeigu užpakalį šito rutulio iš vidaus apklosime plonu sluogsniu cinksulfido, tai katodo spindulys, pasiekęs galą rutulio, sudarys žalią fosforescenciją cinksulfido. Taigi, dėka to cinksulfido galima sekti katodo spindulių atlenkimas nuo jų tiesialinės krypties.

Aprašytas čia vamzdis paleidžiamas prijungus anodą R ir katodą C prie atatinkamų polių antrinės špulės Rumkorfo induktoriaus. Reikia imti galingas induktorius. Be to, anodas R ir abudu metaliniai skrituliai A ir B prijungiami prie žemės. Dalis vamzdžio tarp B ir DE randasi tarp polių elektromagneto (poliai iš pryšakio ir iš užpakalio piešinio plokštumos), taip kad magnetinės jėgų linijos perkerta šitą vamzdžio dalį skersai. O metalinės plokštelės D ir E galima prijungti prie akumulatorių batarejos polių arba prie apšvietimo tinklo polių ir tokiu būdu suteikti joms tam tikrą potencialų skirtumą. Vadinasi, elektrostatinis laukas čia veikia vertikaline kryptimi, statmenai katodo spindulių krypčiai ir statmenai magnetiniam laukui. Paleidus vamzdį ir elektromagnetą, katodo spinduliai bus atlenkti minėta mechaniška jėga nuo tiesialinės krypties, kaip rodo 343 piešinys. Iš šito atlenkimo, kuris galima išmatuoti, ir iš rutulio diametro galima apskaityti stipinas r rato, kuriuo ima suktis katodo dalelė aplink magnetinę liniją veikiant magnetiniam laukui. Taigi tokią dalelę veikia iščentrinė jėga, lygi $\frac{m v^2}{r}$. Kad dalelė pasiliktų ant rato, šita iščentrinė jėga turi būti lygi nurodytai mechaniškai jėgai. Mes tad turime lygtį: $Hev = \frac{m v^2}{r}$. O iš šitos lygties: $\frac{m}{e} v = Hr$. Atlenkus katodo spindulį magnetiniu lauku, plokštelės D ir E prijungiamos prie polių akumulatorių batarejos ir tokiu būdu tarp plokštelių sudaromas elektrostatinis laukas. Kadangi katodo dalelės užtaisytos neigiamai, tai jos bus atlenktos į pusę teigiamos plokštelės. Tegu teigiama plokštelė bus viršutinė plokštelė D (žiūr. 340 pieš.). Vadinasi, elektrostatinis laukas veiks prieš magnetinį lauką ir atlenks katodo spindulį augštyn. Reguliuojant įtempimą tarp plokštelių D ir E, galima elektrostatiniu lauku kompensuoti elektromagnetinio lauko atlenkimas. Tegu, esant įtempimui tarp plokštelių D ir E, X voltų atlenkimas elektrostatinio lauko pasidaro lygus, tik priešingai atkreiptas atlenkimui magnetinio lauko. Tad veikianti katodo dalelę elektrinė jėga yra lygi Xe, ir mes turime lygtį: $Xe = Hev$, iš to: $V = \frac{X}{H}$. Greitumas tad katodo dalelės yra lygus santykiui elektrostatinio ir magnetinio lauko stiprumų, pasiekus pusiausvyrą tarp tų dviejų laukų veikimo. Visų pirma pabrėšime čia, kad J. Thomsonas tokiais matavimais konstatavo, kad greitumas katodo dalelių svyruoja tarp 2.10^9 — 3.10^9 cm. (tarp 20.000 ir 30.000 klm.), t. y. sudaro $^1/_{15}$ — $^1/_{10}$ dalį šviesos greitumo.

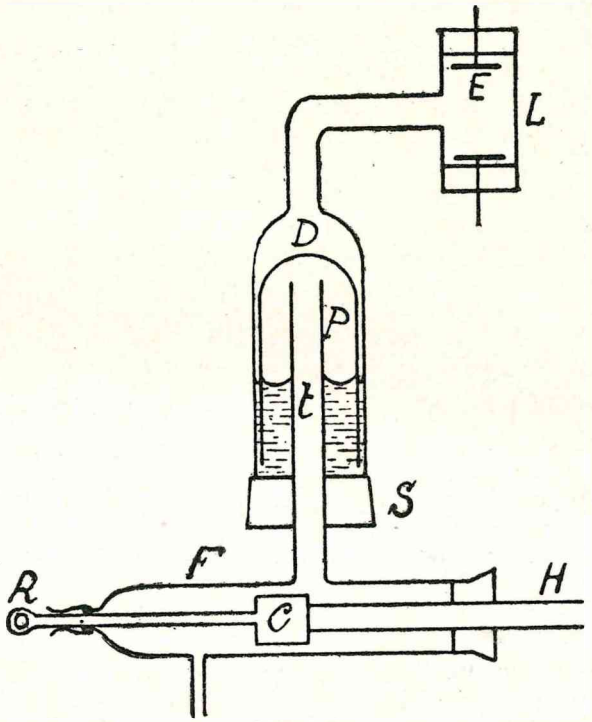
Suderindami paskutinę lygtį $v = \frac{X}{H}$ su lygtimi $\frac{m}{e}$. $V = Hr$, mes gausime $\frac{m}{e} = \frac{Hr}{v} = \frac{H^2 r}{X}$. Šitais matavimais J. Thomsonas galėjo apskaityti dydį $\frac{m}{e}$ katodo dalelėms, t. y. apskaityti katodo dalelių elektrocheminį ekvivalentą (santykis masės ir atatinkančio tai masei elektros kiekio). Iš J. Thomsono bandymų matyti, kad $\frac{m}{e} = 5{,}65.10^{-8}$, skaitant elektromagnetiniais vienetais. Thomsonas atliko daugybę bandymų turėdamas savo vamzdyje (343 pieš.) įvairias dujas ir imdamas katodą iš įvai-

rios medžiagos ir visais atvejais gavo tą patį skaičių santykiui $\frac{m}{e}$. Taigi, jis patvirtino Crookso hipotezę, kad šitos katodo dalelės yra bendra sudėtinė dalis visokios medžiagos, visų chemijos elementų. Thomsonas pavadino šitas daleles korpuskulomis ir iš pradžios padarė hipotezę, kad šitų korpuskulų elektros įlydis yra tokio pat didumo kaip vienvalentingų ionų įlydis. Einant Faraday'aus elektrolizės dėsniu, tasai santykis vandeniliui $\frac{m_H}{e} = 0{,}0000104$ gramų, skaitant vienam kulonui elektros, o skaitant 1 elektromagnetiniam elektros vienetui tasai santykis bus 0,000104 gramų. Taigi, santykis tarp masės vandenilio iono ir masės korpuskulos, priimant Thomsono hipotezę, pasidaro: $\frac{m_H}{e} : \frac{m}{e} = \frac{m_H}{m} = \frac{0{,}000104}{5{,}65.10^{-8}} = 1850$. Tad Thomsono korpuskulos yra apie 1850 sykių lengvesnės, kaip atomai lengviausio elemento vandenilio.

Tokių pat dalelių, kaip korpuskulos, atsiranda veikiant metalų paviršius, ypač cinko, kalio ir natrio violetiniams spinduliams. Tokiomis sąlygomis metalai išmeta korpuskulas. Lydinys kalio ir natrio leidžia korpuskulas veikiant jį paprasta šviesa, sakysime, nušvietus žvakės liepsna. Taip pat veikiant X-spinduliams bet kurią medžiagą, ji ima leisti korpuskulų. Pagaliau, įkaitinti metalai, ypač brangieji, leidžia korpuskulų, ir juo smarkiau, juo augštesnė temperatūra. Dažnai korpuskuloms gauti vartojamas metalas wolframas, nes jo tirpimo temperatūra yra augštesnė kaip platinos; jis galima įkaitinti ligi 2000° ir augščiau, ir tada iš jo paviršiaus gausiai išlekia korpuskulos. Kaitinimo lemputės su vielomis iš platinos, osmijo ir wolframo yra geri ištekliai korpuskulų. Taigi, J. Thomsonas nepasitenkino nustatęs santykį $\frac{m}{e}$ korpuskuloms, kurios išeina iš katodo, vykstant elektros išlydžiui per smarkiai praskiestas dujas. Jis atliko bandymus korpuskuloms, gautoms iš įvairių augščiau nurodytų išteklių, atlenkdamas tas korpuskulas magnetiniu ir elektrostatiniu laukais, ir visais atvejais konstatavo, kad santykis $\frac{m}{e}$, kitaip sakant, elektrocheminis korpuskulų ekvivalentas, yra to paties didumo, būtent, $5{,}65.10^{-8}$ gramų, skaitant vienam elektromagnetiniam elektros vienetui.

Kad galima būtų nustatyti korpuskulų masė m, reikėjo išmatuoti korpuskulos elektros įlydį e, del kurio J. Thomsono buvo padaryta hipotezė, kad tas įlydis lygus vienvalentingo iono įlydžiui, sakysime, vandenilio iono įlydžiui. Šitą darbą atliko kitas Cambridge'o fizikas Wilsonas. Jau seniau Aitkeno buvo konstatuota, kad, nesant ore dulkių, vandens garai lengvai pasiekia tokiam ore persotintą būklę, kitaip sakant, perėjimas garų į skystą būklę, garų kondensacija, pasiekus sočią būklę, vyksta tik tada, kada ore yra smulkių dalelių, nes kiekviena tokia dalelė darosi tada branduoliu, apie kurį prasideda garų kondensacija (Žiūr. „Šilimos„ 14 §, 90 — 92 pusl.). Wilsonas Kavendišo laboratorijoje Cambridge pastebėjo, kad tokiais branduoliais garų kondensacijai gali būti ne tik smulkiausios kietos dalelės dujose, bet ir ionai. Ionizuotose dujose negali būti persotintos būklės vandens garų, nes kiekvienas dujų ionas tampa branduoliu, ant kurio prasideda garų kondensacija. Tai pastebėjęs, Wilsonas sugalvojo aparatą korpuskulų įlydžiui išmatuoti ir atliko tuo aparatu visą eilę bandymų. Wilsono aparatą, vadinamą ekspansijos aparatu, schematiškai atvaizduoja 344 piešinys. Vamzdis F iš vienos pusės yra sujungtas su didesniu rezervuaru keleto litrų talpumo, iš kurio evakuojamas oras su pagalba vandens siurblio (žiūr. šoninį vamzdelį iš apačios vamzdžio F), o iš antros pusės per vamzdį t vamzdis F susisiekia su oru, kuris randasi po gaubtuvu P. Tasai gaubtuvas P stiklinis ir turi būti lengvas. Aplink jį stiklo cilinderis SD, kuris susisiekia su stikline ionizacijos kamera L, kaip rodo 344 piešinys iš viršaus. Cilinderis SD ligi $^1/_3$ pripiltas vandens ir į tą vandenį panertas gaubtuvas P, kuris, mažėjant oro spaudimui jame, pasineria vandeny giliau, vadinasi, slenka žemyn.

Vamzdis t užkimštas iš apačios kamščiu C, kuris prijungtas prie stiebo R galo. Taigi, staiga patraukus šitą stiebą R, galima kamštis C ištraukti iš vamzdžio t ir tokiu būdu sudaryti susisiekimą tarp oro gaubtuve P ir praskiesto oro rezervuare, su kuriuo susisiekia vamzdis F. Ionizacijos kamera L susideda iš stiklo vamzdžio, uždaryto iš abiejų galų kamščiais, per kuriuos į kamerą įeina dvi cinko plokštelės E (viršutinė plokštelė turi būti iš cinko, o antra plokštelė gali būti iš bet kurio metalo). Taigi, šita kamera susisieka su indu D, kuriame randasi vanduo, vadinasi, vandens garai šitoje kameroje L yra sotūs, ir duodant orui šitoje kameroje išsiplėsti adiabatiškai, vandens garai joje lengvai pasieks persotintą būklę ir, jeigu kameroje yra smulkiausių dulkių, tai kiekviena adiabatinė ekspansija oro kameroje L duos rūką, nes ant dalelių susikondensuos vandens garai. Taigi, prieš atliekant ionizacijos eksperimentą, reikia atlikti kartotiną ekspansiją oro kameroje L, kad šitoj kameroj nebūtų dulkių. Tai daroma staiga ištraukiant kamštį C iš vamzdžio t su pagalba stiebo R. Tada gaubtuvas P staiga krinta žemyn ir oras kameroje L staiga plinta. Ekspansijos laipsnis oro kameroje L pareina nuo to, kiek tas gaubtuvas P nudribs žemyn, o tai vėl pareina nuo to, kiek tas gaubtuvas P iš pradžios panertas vandeny. Taigi, reguliuojant šitą pradžios būklę gaubtuvo P, galima reguliuoti oro ekspansija kameroje L ir apskaityti temperatūros kritimas, surištas su šita adiabatine ekspansija. Jeigu oras kameroje L iš pradžios buvo sotus garais, tai atlikus nurodytu būdu ekspansiją, oras bus persotintas garais ir persotinimo laipsnis bus matuojamas santykiu $\frac{P}{p}$, jeigu mes vandens garų spaudimą iš pradžios pažymėsime raide P, o įvykus ekspansijai raide p (kitaip sakant, tai bus garų spaudimai prie pradžios temperatūros ir prie nukritusios temperatūros). Pagaliau, žinant persotinimo laipsnį, galima apskaityti garų kiekis, kuris susikondensuos kameroje. Atliekant kartotinai ekspansiją oro kameroje L, dulkės, buvusios ore, bus nuplautos, nes vandens lašeliai su dulkėmis atsidurs ant kameros L sienų. Tai bus matyti iš to, kad tolimesnėmis ekspansijomis oro kameroje L nebegalima bus gauti rūko. Pasiekus tokią būklę, kamera bus paruošta pagrindiniam ionizacijos eksperimentui.



344 pieš.

Taigi, gavus nurodytu būdu kamerą L nuo dulkių atpalaiduotą, atliekama adiabatinė oro ekspansija toje kameroje tokio didumo, kad persotinimas oro kameroje pasidarytų ketveriopas (t. y., kad kameroje pasidarytų 4 syk daugiau garų, kaip jų gali būti sočioje būklėje). Kadangi kamera yra atpalaiduota nuo smulkių dalelių, tai dabar nebus jokios garų kondensacijos, rūko nesusidarys. Bet tasai rūkas tuojau pakįla, kai cinko elektrodas nušviečiamas E ultra-violetiniais spinduliais. Kaip jau pasakyta, tokiomis sąlygomis cinko paviršius išmeta korpuskulas, o pastarosios ionizuoja orą kameroje, nes kiekviena korpuskula pritraukia prie savęs po vieną arba net ir po keletą oro molekulų. Taigi, mes turėsime tiek neigiamų ionų ore, kiek bus korpuskulų. Apie kiekvieną ioną susidarys vandens lašelis, o jų tad bus tiek, kiek iš viso susidarė

neigiamų ionų ore. Wilsonas tarp kitko įrodė, kad garų kondensacija lengviau įvyksta ant neigiamų ionų, kaip ant teigiamų ionų. Vadinasi, turint neigiamus ionus kondensacija eina prie mažesnių persotinimo laipsnių, kaip turint teigiamus ionus.

Sudarytas nurodytu būdu vandens rūkas arba debesėlis kameroje L, veikiant svorio jėgai, slenka žemyn. Šitas slinkimas sekamas su pagalba mikroskopo, aprūpinto škala, ir nustatomas slinkimo greitumas v, kuris pagal Stokes'ą, galima išreikšti tokia lygtimi: $V = \frac{2}{9}\frac{g}{\eta} r^2 (s - d)$ (žiūr. „Skysčiai ir Dujos", 9 §, 39, 40 pusl.). Šitoje lygtyje g reiškia svorio jėgos greitėjimą, η — oro klampumą, r vandens lašelio spindulį, s vandens tankumą ir d oro tankumą. Taigi, šita formula įgalina mus apskaityti vandens lašelio spindulį r, išmatavus greitumą v, kuriuo slenka žemyn rūkas kameroje L. Žinant r, apskaitoma vandens lašelio masė $M = \frac{4}{3}\pi r^3 s$ (s vandens tankumas). Taigi, jėga, kurios įtakoje lašelis krinta žemyn, yra lygi Mg.

Išmatavus greitumą v, kuriuo slenka žemyn rūkas kameroje L, cinko plokštelei E suteikiamas teigiamas potencialas X tokio didumo, kad būtų sustabdytas rūko slinkimas žemyn. O rūko lašeliai visi turi neigiamą įlydį e (korpuskulos įlydis) ir, todel, visi tie lašeliai bus dabar traukiami augštyn teigiamai įelektrintos cinko plokštelės E. Aišku, kad suteikus tam tikrą teigiamą potencialą X plokštelei E rūkas pakibs ore, kaip Mahometo karstas. Veikianti kiekvieną vandens lašelį elektriška jėga tokiomis sąlygomis bus lygi Xe ir ta jėga turi būti lygi svorio jėgai. Tokiu būdu mes gausime lygtį $Xe = Mg$, kur visi dydžiai bus žinomi, išskyrus e. Atlikus aprašytus čia eksperimentus galima, bus apskaityti korpuskulos elektros įlydį e.

Atlikęs visą eilę minėtų eksperimentų, Wilsonas surado, kad korpuskulos įlydis e vidutiniškai yra lygus $4{,}65.10^{-10}$ elektrostatinių vienetų.

Wilsono darbai buvo ir kitų tyrinėtojų atkartoti ir davė tokių pat vaisių. Čia trumpai paminėsime šitoje srityje amerikiečio Millikano nuveiktus klasiškus darbus. Jis modifikavo Wilsono metodą, nedarydamas jokios ekspansijos ionizacijos kameroje, kuri jo aparate buvo visiškai panaši į ionizacijos kamerą Wilsono aparato, (žiūr. 344 pieš.), bet su pagalba labai smulkaus pulverizatoriaus įvarydamas į ionizacijos kamerą mikroskopiškus lašelius alyvos arba gyvojo sidabro. Tie lašeliai galima buvo sekti mikroskopu, pastatytu prieš kamerą. Mikroskopas buvo aprūpintas škala okularo vamzdy. Praskiestos dujos arba oras kameroje buvo ionizuojami X-spinduliais. Ionizuojant orą ultra-violetiniais spinduliais, kaip Wilsono bandymuose, nuo cinko paviršiaus atsiskiria neigiamos korpuskulos, kurios pritraukia oro arba dujų molekulas, taip kad Wilsono kameroje mes turime tik neigiamų ionų. X-spinduliai nuskelia nuo molekulų oro arba dujų neigiamas korpuskulas, suteikdami jiems didelių greitumų. Molekula, nustojusi vienos korpuskulos, pasilieka teigiamai užtaisyta. Antra vertus, korpuskula, susidurdama pakeliui su molekulomis, prisijungia prie kai kurių iš tų molekulų ir užtaiso jas neigiamai, taip kad Millikano kameroje mes turime teigiamų ir neigiamų ionų. Bet mikroskopiškas lašelis, sakysime, gyvsidabrio, patekęs į kamerą per labai mažą skylę, susidurdamas su ionais del savo didelės, sulyginti, masės, atima iš ionų korpuskulas ir užsitaiso neigiamai. Kadangi Millikano rutuliukai, sulyginti su molekulomis, labai dideli ir masingi, tai pasirodė, kad ant tų rutuliukų gali susirinkti žymiai didesnis įlydis, kaip korpuskulos įlydis. Bet buvo konstatuota, kad tasai įlydis visuomet yra kartotinas korpuskulos įlydžio (2, 3 syk didesnis, kai kada net 8 syk didesnis ir daugiau). Apie gyvojo sidabro rutuliuko įlydžio didumą Millikanas, kaip ir Wilsonas, sprendė iš teigiamo potencialo didumo, kuris reikėjo suteikti viršutiniam ionizacijos kameros elektrodui, kad būtų kompensuota svorio jėga, veikianti rutuliuką. Įtakoje svorio jėgos, neigiamai užtaisytas rutuliukas krinta žemyn. Suteikus tam tikrą teigiamą potencialą viršutiniam kameros elektrodui, rutuliukas kaba ore ir, nustačius ant jo mikroskopą, galima ištisomis valandomis stebėti tokį rutuliuką. Kameroje laksto dideliais greitumais įvairiomis kryptimis molekulos ir ionai ir laikas nuo laiko suduoda į rutuliuką ir arba nuskelia nuo rutuliuko dalį jo įlydžio, ir tada rutuliukas ima kristi žemyn, arba suteikia jam

naują įlydį, ir tada rutuliukas ima kilti augštyn. Reguliuojant elektrostatinį lauką taip, kad rutuliukas grįžtų į jo pirmykštę būklę, iš lauko sustiprinimo arba susilpninimo galima buvo spręsti, kokio įlydžio nustoja rutuliukas vienu atveju ir kokį priedinį įlydį jis įsigyja kitu atveju. Visais atvejais buvo konstatuota, kad tas įlydis yra to paties didumo ir yra lygus $4{,}77.10^{-10}$ elektrost. vienetų. Šitas Millikano metodas yra tuo labai patogus, kad čia ištisomis valandomis galima sekti apsimainymą elektros įlydžiais to paties alyvos arba gyvojo sidabro rutuliuko su dujų ionais ionizacijos kameroje.

Remiantis visa eile panašių tyrinėjimų šiandien fizikoje priimtas vidutinis dydis korpuskulos įlydžiui, būtent $e=4{,}77.10^{-10}$ elektostatinių vienetų arba $\frac{4{,}77.10^{-10}}{3.10^{10}} = 1{,}59.10^{-20}$ elektromagnetinių vienetų.

Pažiūrėsime dabar, kokį elektros įlydį turi vienas vienvalentingas ionas, sakysime, vandenilio ionas. Einant kinetine dujų teorija vienas gramionas vandenilio susideda iš 6.10^{23} atomų - ionų. Einant Faraday'aus elektrolizės dėsniu vienas gramionas vandenilio turi įlydį 96540 kulonų arba 9654 elektromagnetinių absoliutinių vienetų. Taigi 1 iono vandenilio įlydis yra lygus $\frac{9654}{6.10^{23}} = 1{,}6.10^{-20}$. Vadinasi, bandymai Wilsono, Millikano ir kitų patvirtina J. Thomsono hipotezę, kad įlydis korpuskulos $1{,}59.10^{-20}$ yra toks pat, kaip įlydis vienvalentingo iono. Iš $\frac{m}{e} = 5{,}65.10^{-8}$ ir $e = 1{,}59{,}10^{-20}$ išeina $m = 5{,}65.\ 10^{-8} \times 1{,}59.10^{-20} = 9.10^{-28}$ gramų. Tai yra masė korpuskulos — dydis be galo mažas.

Taigi, iš pat pradžios fizikams kilo klausimas, ar nėra ta korpuskulos masė išimtinai elektrinės kilmės? Juk slenkant elektriškai užtaisytam kūnui, apie jį susidaro magnetinis laukas ir tai didina efektyvę masę elektriškai užtaisyto slenkančio kūno. Pažymėsime kūno greitumą raide v ir jo įlydį raide e. Tad tokio kūno judėjimas nurodytu greitumu yra ekvivalentingas srovei e v. Šita srovė bet kuriam taške erdvės, atokume r nuo slenkančio kūno, sudaro magnetinį lauką stiprumo $H = \frac{ev}{r^2} \sin\varphi$ (žiūr. 12 ir 17 §§). Čia φ reiškia kampą, kurį sudaro linija, ištiesta iš taško į kūną, su kūno slinkimo kryptimi. Magnetinė energija tūrio vieneto yra lygi $\frac{H^2}{8\pi}$ (žiūr. 18 §). Vadinasi, magnetinė energija tūrio elemento d u bus $\frac{H^2}{8\pi} d\,u = \frac{e^2v^2}{8\pi r^4} \sin\varphi\, d\,u$. Integruodami šitą lygtį mes gausime visą magnetinio lauko energiją, nustatant šitam magnetiniam laukui ribas nuo slenkančio kūno ligi begalybės ir pažymėjus slenkančio kūno spindulį raide a. Taigi mes turėsime:

$\int_a^\infty \frac{e^2v^2}{8\pi r^4} \sin^2\varphi\, d\,u = {}^1/_3 \frac{e^2v^2}{a}$. Tai rodo, kad prie įelektrinto slenkančio kūno kinetinės energijos $^1/_2\ mv^2$ prisideda elektromagnetinė energija $^1/_3 \frac{e^2v^2}{a}$. Vadinasi, slenkančios greitumu v įelektrintos dalelės energija išreiškiama formula:

$\frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{3}\frac{e^2v^2}{a} = \frac{1}{2}v^2\left(m + {}^2/_3 \frac{e^2}{a}\right)$. Šita formula galima sulyginti su formula kinetinei energijai, ir tada pasirodo, kad efektyvė slenkančio įelektrinto kūno masė yra lygi $m + {}^2/_3 \frac{e^2}{a}$, vadinasi, yra didesnė kaip paprasta masė. Mes turime analogiją šitam fenomenui hidrodinamikoje. Efektyvė kūno masė, — kūno, kuris slenka greitumu v skystyje, yra didesnė kaip masė to paties kūno, parimusio skystyje, nes slenkąs kūnas,

taip sakant, pagauna ir neša su savimi dalį skysčio. Pavyzdžiui, rutulys, kuris slenka skystyje, varo su savimi skysčio tūrį, kuris yra lygus pusei rutulio tūrio, o cilinderis, kuris slenka skystime gulsčia kryptimi, būdamas vertikalėje būklėje, neša su savimi skystimo tūrį, kuris yra lygus cilinderio tūriui. O kada cilinderio išilginė ašis sutampa su jo judėjimo kryptimi, tai jis tada visiškai nepagauna skystimo. Taip pat ir elektriškai užtaisytas kūnas užkliudo mediumą (eterį) slinkdamas tam tikru greitumu. Elektriškai užtaisytas kūnas turi elektrišką lauką. Iš jo paviršiaus į visas puses tęsiasi jėgų linijos arba jėgų vamzdeliai, ir tie vamzdeliai slenkant kūnui susigrūda smarkiau kūno pusiaujo plotmėje, statmenai kūno judėjimo krypčiai. Tai atsiliepia taip, kad, tarytum, kūno masė didėja. Be to, einant relatyvumo teorija, kūno masė yra pastovus dydis tiktai tol, kol kūno greitumas yra žymiai mažesnis kaip šviesos greitumas. Artinantis kūno greitumui prie šviesos greitumo, kūno masė didėja. Vadinasi, esant dideliems greitumams Newtono antrasai dinamikos dėsnis nebeveikia. Didis Olandų fizikas Lorentzas išreiškia masę, kaipo greitumo funkciją, tokia formula: $\frac{m_v}{m_0} = \left(1 - \beta^2\right)^{-1/2}$. Čia m_0 reiškia masę prie paprastų greitumų, m_v masę prie didelių greitumų ir $\beta = \frac{v}{c}$. c reiškia šviesos greitumą. Taigi, iš šitos Lorentzo formulos išeina, kad $m_v = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} =$ $= \frac{m_0}{0} = \infty$, kada v=c. Vadinasi, artinantis greitumui prie šviesos greitumo, masė didėja, ir jeigu kūnas galėtų pasiekti šviesos greitumą, masė pasidarytų begalybe. Tai parodo, kad negali būti fiziniam pasauly didesnių greitumų kaip šviesos greitumas, nes nieku būdu negalima suteikti materialinėms dalelėms greitumo, lygaus šviesos greitumui.

Šita išvada iš relatyvumo teorijos patvirtinta Heydelbergo fiziko Kaufmano korpuskuloms. Tasai fizikas sekė labai didelių greitumų korpuskulas, vadinamas β - daleles, kurias išmeta radio preparatas (apie tas β - daleles bus kalbama vėliau). Įlydis tų β - dalelių yra toks pat, kaip korpuskulų, bet jos turi greitumus nuo 200000 kilometrų ligi 290000 per sekundą. Santykį $\frac{m}{e}$ šitoms β - dalelėms Kaufmanas nustatė atlenkdamas jas magnetiniu ir elektrostatiniu laukais, kaip J Thomsonas, ir konstatavo, kad kintant jų greitumui nuo $3{,}10^8$ cm. per sekundą ligi $2{,}9.10^{10}$ cm. per sekundą, masė dalelių darosi 5 syk didesnė.

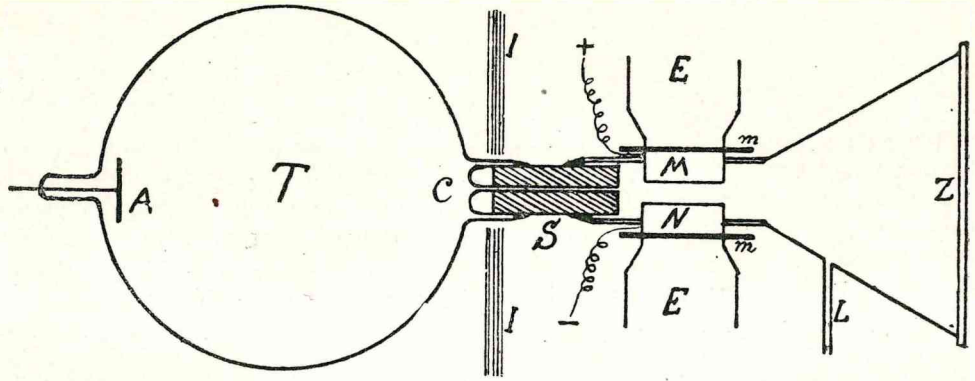
Taigi, atsimenant tą faktą, kad masė slenkančios įelektrintos dalelės yra padidinta tam tikru dydžiu ir kad ta masė pareina nuo dalelės greitumo, galima manyti, kad prie didelių dalelės greitumų visa masė yra elektromagnetinė masė, nes paprasta masė sudaro tada tik labai mažą dalį efektyvės masės. Todel reikia manyti, kad korpuskulos masė yra elektromagnetinė masė. Antra vertus, korpuskulos elektros įlydis yra mažiausias įlydis, nes mažesnio įlydžio fizika nežino. Atsimenant, kad dar 1881 metais Helmholtz'as, remdamasis išvadomis iš Faraday'aus elektrolizės dėsnių, pareiškė nuomonę, kad elektra, kaip ir materija, turi atominę struktūrą (žiūr. 15 §), tenka žiūrėti į korpuskulą kaipo į mažiausį neigiamos elektros kiekį, kaipo į neigiamos elektros atomą. Šitas neigiamos elektros atomas, pasiūlius Stoney'ui, vadinasi elektronas.

Taigi, katodo spinduliai sudaryti iš elektronų; ir tuos elektronus išmuša iš metalų ultra-violetiniai spinduliai, o X-spinduliai išmuša juos iš visokios medžiagos. Antra vertus, sudavus elektronams į medžiagą, susidaro X - spinduliai. Be to, tokius elektronus, tik labai didelių greitumų, išmeta radioaktinga medžiaga. Pagaliau, metalai, įkaitinti ligi augštos temperatūros, ypač brangieji metalai, gausiai leidžia elektronus (termioniškas efektas, kuris, kaip pamatysime vėliau, turi šiandien didelės reikšmės radiofonijoje.)

Gauti iš įvairių šaltinių įvairiais būdais šitie elektronai charakterizuojasi nuolatiniu įlydžiu e ir nuolatiniu santykiu $\frac{m}{e}$ (arba $\frac{e}{m}$). Prie šitos konstantos pridėsime dar elek-

trono spindulį, kuris, remiantis visa tuo, kas anksčiau pasakyta, išeina iš lygties $^2/_3 \frac{e^2}{a} = m$. Iš šitos lygties turime: $a = \frac{2}{3}\frac{e^2}{m} = \frac{2}{3}\frac{(1{,}59.10^{-20})^2}{9.10^{-28}} = 1{,}87.10^{-13}$ cm. Taigi, šitie dydžiai yra universalinės konstantos, nes elektronai yra sudėtinė dalis visokios medžiagos, visokių rūšių atomų.

Taigi, elektrono išradimas atgaivino materijos vienybės idėją. Bet sudaryti atomo, sakysime vandenilio, iš 1850 elektronų, kaip tai buvo iš pradžios mėginta, negalimas daiktas, nes tarp tos pačios rūšies elektriškų dalelių veikia atsparos jėgos, ir todel agregatas tokių dalelių negali būti pusiausvyroje. Be to, atomai yra elektriškai neutralūs. Vadinasi, tvirtinant, kad elektronai yra viena rūšis medžiagos, iš kurios sudaryti atomai, reikia ieškoti dar kitos rūšies medžiagos, elektriškai teigiamos, be kurios negalima sudaryti neutralaus atomo. Todel išradę elektroną, J. Thomsonas, Rutherfordas ir kiti ėmė ieškoti elektriškai teigiamos sudėtinės atomo dalies, ėmė ieškoti teigiamos elektros atomo, nes jeigu neigiama elektra turi atominę struktūrą, tai jau greičiau galima spėti, kad ir teigiama elektra turi atominę struktūrą, kaip manyti, kad šituo atžvilgiu teigiama elektra skiriasi nuo neigiamos elektros. Juk ir teigiamų ionų elektros įlydis yra tam tikras dydis arba šito dydžio sveikas kartotinas.



345 pieš.

Kanaliniai spinduliai

Dar tuo pačiu laiku, kada Crooksas nagrinėjo katodo spindulius, vokiečių fizikas Goldšmidtas surado, kad einant elektros išlydžiui katodo vamzdyje pasireiškia dvi spindulių rūšys: vieni išeina iš katodo ir pasklinda tiesiomis linijomis, t. y. katodo spinduliai; antrieji tuo pačiu laiku išeina iš anodo ir tęsiasi katodo link. Jeigu katodą iš aluminio aprūpintume visa eile mažučių skylių, tai dalis tų spindulių, išeinančių iš anodo, pereitų per katodo skyles ir trauktųsi užpakaly katodo tiesiomis linijomis. Todel Goldšmidtas, kuris pirmutinis praleido tokiu būdu tuos spindulius per katodą, pavadino juos kanalų spinduliais (Kanalstrahlen). Pasirodo, kad tie spinduliai yra sudėti iš elektriškai teigiamų dalelių, nes jie galima atlenkti magnetiniu lauku ir elektrostatiniu lauku taip, kaip atlenkiama teigiama elektros srovė, vadinasi, priešinga kryptimi kaip atlenkiami katodo spinduliai. Bet atlenkimas tų teigiamų spindulių, arba anodinių spindulių, magnetiniu lauku yra žymiai mažesnis kaip atlenkimas katodo spindulių. Iš čia reikia padaryti išvadą, jog tų teigiamų dalelių masė yra žymiai didesnė, kaip elektronų.

J. Thomsonas stengėsi nustatyti santykį $\frac{m}{e}$ arba $\frac{e}{m}$, t. y. elektrochemišką ekvivalentą šitoms dalelėms ir sukūrė labai svarbų fizikai ir chemijai metodą teigiamų spindulių analizės, kurį mes čia trumpai ir aprašysime.

345 piešinys atvaizduoja schematiškai Thomsono aparatą, kuris vadinasi teigiamų spindulių vamzdis. Šitas aparatas sudėtas iš trijų dalių: 1) teigiamų spindulių gene-

ratoriaus T, stiklo rutulio paviršiu, 2 - 3 litrų talpumo; 2) vidurinės dalies, kur teigiami spinduliai gaunami siauro pluošto pavidalu ir atlenkiami magnetiniu ir elektrostatiniu laukais; 3) kameros, kur tų spindulių efektas gaunamas arba ant fluorescencijos ekrano arba ant fotografinės plokštelės. Į stiklo rutulį T per tam tikrą vamzdį įleidžiamos tos ar kitos dujos ir per kitą vamzdį evakuojamos iš generatoriaus T su pagalba Gaede siurblio, taip kad generatoriuje mes turime dujas praskiestoje būklėje. Anodas iš aluminio įlydytas į stiklo rutulį T su pagalba platinos vielos. Katodas C įtaisytas generatoriaus T kakle. Tasai katodas yra aluminio cilinderis, per kurį prakištas ilgokas, bet labai siauras, vario vamzdis. Vario vamzdžio ilgis apie 8 cm., o diametras tik $^1/_{10}$ m/m. Taigi, šitas siauras kanalas per katodą ir įgalina mus gauti labai siauram pluoštui, gangreit linijai, teigiamų spindulių. Kadangi silpniausias klaidžiojąs magnetinis laukas veiks tokį siaurą spindulių pluoštą ir, kaipo to veikimo išdava, teigiamos dalelės bus atlenktos, suduos į vario kanalo sienas ir nustos savo įlydžio, todel, kad būtų apgintas toks spindulių pluoštas nuo įtakos bet kurio magnetinio lauko, vario kanalas per visą savo ilgį išorėj aluminio anodo apklotas storu vamzdžiu S iš geležies (žiūr. 345 piež.). Be to, kad būtų apgintas generatorius T nuo magnetinio lauko veikimo, kuris gali atlenkti teigiamas daleles nuo katodo, generatorius atskirtas nuo visos kitos aparato dalies storu geležies ekranu JJ. Dirbant su šituo aparatu tenka vartoti įlydžiai didelio įtempimo, apie 30.000 — 40.000 voltų, ir todel katodas smarkiai įkaista. Taigi, katodas dar apsuptas mova (mufta), per kurią cirkuliuoja šaltas vanduo katodui vėsinti.

Išėję iš vario kanalo, spinduliai eina per vidurinę dalį aparato tarp dviejų sijų iš minkštos geležies M ir N, kurios hermetiškai įleistos į vidų šitos vidurinės aparato dalies. Šita dalis padirbta iš ebonito dėžutės pavidalu, kuri leku hermetiškai sujungta su kitomis aparato dalimis. Sijos M ir N iš vienos pusės yra polių galūnėmis elektromagneto EE, o iš antros pusės prie tų pačių sijų galima prijungti akumulatorių batarejos poliai. Todel šitos sijos M ir N izoliuotos nuo elektromagneto geležies plonais lapais žėručio mm. Vadinasi, šitoje aparato dalyje sudaromi magnetinis ir elektrostatinis laukai. Taigi, čionai abudu laukai turi tą pačią kryptį, o tuo tarpu lenkiant katodo spindulius jiems buvo suteiktos kryptys statmenai vienas antram. Vadinasi, čionai magnetinio ir elektrostatinio lauko atlenkimai bus statmenai vienas antram, o atlenkiant katodo spindulius tie atlenkimai buvo ta pačia linija, tiktai priešingai vienas antram.

Perėjęs per magnetinį ir elektrostatinį laukus, spindulių pluoštas įeina į trečią dalį aparato, į kamerą kūgio pavidalu hermetiškai uždaryta stiklo plokštele Z. Šita stiklo plokštelė iš vidaus apklota plonu sluogsniu cinksulfido (wilmenito). Taigi, teigiamų spindulių pluoštas, pasiekęs šitą plokštelę, sudarys wilmenito fosforescenciją ir jo buvimas pasireikš ant plokštelės Z šviesos dėmele, arba tašku. Galima stiklo plokštelę Z su wilmenito sluogsniu pakeisti fotografine plokštele, ir tada teigiamų spindulių buvimas pasireikš tam tikru efektu ant fotografinės plokštelės. Wilmenito sluogsnis vartojamas tik demonstracijos tikslams, o atliekant matavimus visuomet imama fotografinės plokštelės.

Kamera Z iš apačios aprūpinta dar stiklo vamzdžiu L, kuris hermetiškai sujungtas su stiklo rezervuaru, pripildytu medžio anglies ir įleistu į Dewaro indą su skystu oru (žiūr. „Šilima“ 176 pusl.). Šita paskutinė priemonė yra būtina sąlyga, kad bandymai pasisektų. Dalykas tas, kad nepasiekus didelio praskiedimo laipsnio, teigiamos dalelės turi pakankamai progos susidurti, patekę į vidurinę aparato dalį, su elektronais ir, kaipo išdava tokių susidūrimų, teigiamos dalelės neutralizuojamos ir tada jų nebeveikia nei magnetinis nei elektrostatinis laukai ir jos nebeatlenkiamos. Tikslas medžio anglies atvėsinimo ligi skysto oro temperatūros (apie — 200°C) yra tas, kad dujos kameroje Z būtų absorbuotos anglies kiek galint smarkiau ir tokiu būdu būtų sudarytas kameroje Z kiek galint didesnis vakuumas. Tada bus žymiai sumažintas susidūrimų skaičius teigiamų dalelių su elektronais ir su kitomis molekulomis ir bus sumažinti kaip teigiamų dalelių neutralizacija, taip ir visokie pašaliniai efektai, kurie komplikuoja atlenkimą teigiamų dalelių magnetiniu ir elektrostatiniu laukais. Skirtumas spaudimo

dujų generatoriuje T ir kameroje Z (didelis vakuumas) čia neturi reikšmės, nes šitos dvi dalys susisiekia per siaurą vario kanalą, per kurį dujų difuzija eina labai lėtai. Geras vakuumas yra svarbus dalykas ir atliekant atlenkimą katodo spindulių, bet su teigiamais spinduliais tai yra būtina sąlyga, ir Thomsonas gavo su savo aparatu gerų vaisių tik tada, kada jis sustiprinti vakuumui pavartojo nurodytą čia priemonę.

Nagrinėsime dabar metodo teoriją. Pažymėsime teigiamos dalelės įlydį raide E ir potencialų skirtumą tarp anodo ir katodo raide V. Tad energija tokios teigiamos dalelės, kuri įsigyja savo įlydį E ant anodo, bus VE. Veikianti teigiamą dalelę elektriška jėga suteikia jai tam tikrą greitumą ir juo didesnį, juo ilgiau ta jėga veikia. Ilgiausiai elektriška jėga veiks tokią teigiamą dalelę, kuri įsigyja įlydį ant anodo, nes toki dalelė bus įtakoje elektriškos jėgos, kol pasieks katodą. O tokios dalelės, kurios isigyja savo įlydį tarp anodo ir katodo, bus įtakoje elektriškos jėgos trumpesnį laiką, nes, kad pasiektų katodą, joms reikės atlikti trumpesnis kelias. Taigi, tokioms dalelėms suteiktas greitumas bus mažesnis, mažiausias tokioms dalelėms, kurios įsigys savo įlydį arti nuo katodo. Pažymėsime maksimalį greitumą teigiamų dalelių raide v ir jų masę raide m. Tad jų kinėtinė energija bus $^1/_2\ m\,v^2$, ir mes turėsime lygtį: $VE = {}^1/_2\, m v^2$, iš kurios: $v^2 = \frac{2VE}{m}$. Tai bus lygtis maksimum greitumo. Taigi, perėję per vario kanalą dalelės bus įvairių greitumų, pradedant nuo šito maksimumo ligi nulio.

Patekę į magnetinį ir elektrostatinį laukus, teigiamos dalelės bus įtakoje jėgų XE ir HEv, jeigu mes stiprumą elektriško lauko pažymėsime raide X, o stiprumą magnetinio lauko raide H. Čia tad mes turime tuos pačius santykius, kaip atlenkiant katodo spindulius, tuo tik skirtumu, kad teigiamų dalelių atlenkimai bus priešingomis kryptimis, kaip neigiamų dalelių atlenkimai. Atsimenant šitas jėgas ir dalelių momentą mv galima tam tikromis formulomis išreikšti atlenkimas teigiamų dalelių magnetiniu lauku ir elektrostatiniu lauku. Tegu popieriaus plokštuma reiškia fotografinę plokštelę Z ir tegu, neveikiant magnetiniam ir elektrostatiniam laukams, teigiamas spindulys pasiekia fotografinę plokštelę taške O (žiūr. 346 pieš.). Per šitą tašką ištiesime linijas X ir Y statmenai viena antrai. Veikiant magnetiniam laukui teigiama dalelė bus atlenkta iš taško O į tašką K išilgai Y linijos (ordinatos). Atlenkimas OK bus lygus $k_1 \frac{HE}{mv} = y$. Veikiant elektrostatiniam laukui ta pati dalelė bus atlenkta iš taško O į tašką J išilgai X linijos (abscisos), ir atlenkimas OJ bus lygus $k_2 \frac{XE}{mv^2} = x$. k_1 ir k_2 čia reiškia dvi konstantas, kurios pareina tik nuo relatyvaus didumo atskirų aparato dalių. Iš šitų dviejų lygčių turėsime: $\frac{y}{x} = \left(\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{H}{X}\right) v$...(1) ir $\frac{y^2}{x} = \left(\frac{k_1^2}{k_2} \cdot \frac{H^2}{X}\right) \cdot \frac{E}{m}$...(2). Taigi, veikiant tuo pačiu laiku ir magnetiniam laukui ir elektrostatiniam laukui, teigiama dalelė pasieks fotografinę plokštelę ne taške O, bet taške P (einant paralelogramo dėsniu).

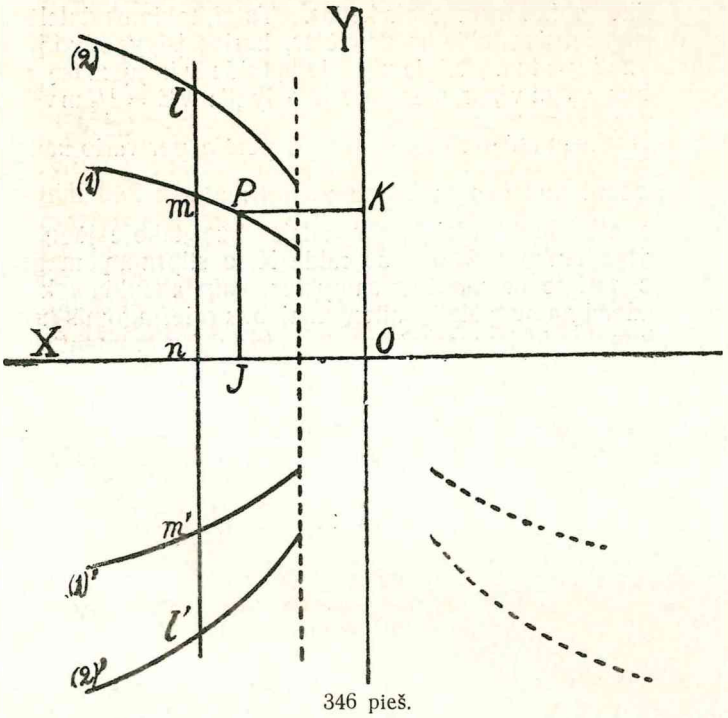
Iš lygčių x ir y matyti, kad, veikiant visą laiką tiems patiems magnetiniam ir elektrostatiniam laukams, atlenkimas teigiamų dalelių bus juo mažesnis, juo didesnis bus jų greitumas. Kadangi, kaip jau buvo pasakyta, mes turėsime daleles įvairių greitumų — nuo nulio ligi tam tikro maksimumo, tai eilė dalelių atsidurs ant tam tikros kreivos linijos. Nekeičiant eksperimento metu magnetinio ir elektrostatinio laukų, dydžiai skliaustuose lygčių (1) ir (2) bus pastovūs, ir tokiomis sąlygomis dydis $\frac{y}{x}$ bus proporcingas dalelės greitumui, o $\frac{y^2}{x}$ bus proporcingas santykiui dalelės įlydžio ir masės. Taigi, dalelės, kurios charakterizuojasi tuo pačiu santykiu $\frac{E}{m}$, bet turi įvairių greitumų, atsidurs ant kreivosios, kuri gali būti išreikšta lygtimi (2). Bet tai yra lygtis parabolos. Vadinasi, ant fotografinės plokštelės mes gausime parabolos dalį. Jeigu

generatoriuje susidarys dalelės įvairių santykių $\frac{E}{m}$ (dalelės įvairių masių ir įvairių įlydžių), tai mes ant fotografinės plokštelės gausime visą eilę parabolų. Įvairių masių dalelės bus, taip sakant, prasijotos pereidamos per magnetinį ir elektrostatinį laukus ir paskirstytos atatinkamomis parabolomis. Dvi iš tokių parabolų atvaizduoja 346 piešinys.

Gavus ant fotografinės plokštelės tokių parabolų, galima tuojau surasti santykis tų dalelių masių (surasti dalelių relatyvės masės), laikant vienetu masę bet kurios dalelės. Ištiesime per tašką n abscisos OX ordinatą n m 1 (žiūr. 346 pieš.). Ji susikirs su dviem parabolom taškuose m ir l. Taigi, eidami minėta parabolos lygtimi mes turėsime tokius santykius: $ln^2 : nm^2 = \frac{E_2}{m_2} : \frac{E_1}{m_1}$. Vadinasi, elektrocheminiai ekvivalentai dalelių santykiaus kaip kvadratai ordinatų, priklausančių toms dalelėms parabolų. Kada elektros įlydžiai dalelių m_1 ir m_2 yra tie patys, tada dalelių masės yra atvirkščiai proporcingos kvadratams ordinatų priklausančių toms dalelėms parabolų. Bet remiantis lygtimi:

$$\frac{y^2}{x} = \left(\frac{k_1^2}{k_2} \cdot \frac{H^2}{X}\right) \frac{E}{m}$$

galima apskaityti ir absoliutinės m dalelių masės, žinant konstantas k_1 ir k_2. O tos konstantos, kaip jau pasakyta anksčiau, pareina nuo aparato išmatavimų ir kiekvienam aparatui gali būti apskaitytos. Taigi, šitas Thomsono metodas įgalina identifikaciją įvairios rūšies teigiamų dalelių, kurios randasi Thomsono vamzdyje su tokia precizija, kurios nepasiekia kiti instrumentai, kaip, pavyzdžiui, spektrometras ir galvanometras. O Thomsono vamzdyje kiekviena molekula, kiekvienas atomas, taip sakant, užsiregistruoja ant fotografinės plokštelės arba ant fluorescencijos ekrano.

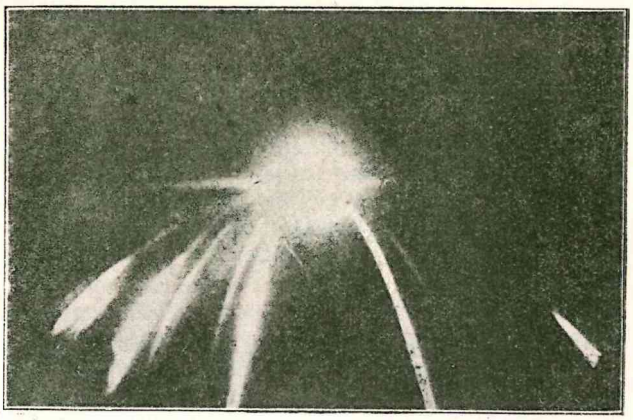


346 pieš.

347 piešinys atvaizduoja vieną iš tokių Thomsono fotografijų. Šituo atveju vamzdyje buvo praskiestas azotas. Bet mes čia matome parabolas ne tik azoto atomų ir molekulų, bet dar kitų atomų ir molekulų. Visų pirma ant tokių fotografijų parabolos išeina iš centro šviesios dėmelės pavidalu. Centru yra ta vieta ant fotografinės plokštelės, kurią paliečia neatlenkti spinduliai arba neatlenktos dalelės,—dalis teigiamų dalelių nustoja savo įlydžių eidama per katodo kanalą ir, kaipo neutralės dalelės, nepasiduoda veikimui magnetinio ir elektrostatinio laukų. Be to, ant fotografijos 347 piešinio, lygiai kaip ant schemos 346 piešinio, mes matome dar parabolas iš apačios, kurios yra visiškai simetriškos paraboloms viršutinės dalies fotografijos arba piešinio. Kad matavimai duotų tikslesnių vaisių, galima, fotografuojant parabolas, apgręžti magnetinis laukas. Tada mes gausime tų pačių dalelių parabolas apatinėje piešinio dalyje. Tad atokumas mm^1 (arba 11') dviejų atatinkamų taškų viršutinės ir apatinės parabolų, priklausančių tai pačiai dalelei, padalytas į du, duos kaip tiktai ordinatą y. Be to, la-

bai dažnai teigiama dalelė, susidurdama su elektronais, pritraukia elektronų perteklių, taip kad ji užsitaiso neigiamai, ir tada tos pačios masės dalelė bus atlenkta magnetinio ir elektrostatinio laukų kaip tik priešinga kryptimi. Bet tai nepakeis santykio ir todel, apskaitant šitą santykį, galima naudotis kaip viršutinėmis, taip ir apatinėmis parabolomis.

Grįždami dabar prie fotografijos (347 piešinys) mes randame ant jos 3 parabolas, kurios priklauso gyvsidabrio atomui iš eilės su vienu įlydžiu, su 2 įlydžiais ir su 3 įlydžiais. Kadangi aparatui evakuoti vartojamas gyvsidabrio siurblys, tai nieko čia nuostabaus, kad dujose atsiranda gyvsidabrio ionų. Taip pat mes matome anglies rūgšties molekulą su vienu + ir argono atomą su vienu +. Tai yra oro priemaišos, kurių sunku išvengti vartojant oro azotą Thomsono bandymams. Tas pats reikia pasakyti apie neono atomą su 1 +, deguonies atomą su 1 + ir anglies atomą su 1 +. Pagaliau, mes čia turime parabolas azoto molekulos N_2 + ir azoto atomų N + ir N + +.



347 pieš.

Reikia pasakyti, kad aprašytas čia Thomsono metodas buvo dar žymiai Astono ištobulintas taip, jog Astonui pasisekė prasijoti dalelės, kurių atominė masė skyrėsi tik vienu vienetu. Taigi, pasisekė gauti tokių dalelių atskiros parabolos ir net atokume 1 cm. viena nuo antros. Ištobūlintas Thomsono aparatas tokios dispersijos galios žinomas šiandien fizikoje masių spektrografu, nes jis perskiria daleles, ir gan smarkiai, jų masėmis.

Thomsono ir Astono tyrinėjimų vaisiai štai kokie. Visų pirma konstatuota, kad teigiamos dalelės masės atžvilgiu visiškai nesiskiria nuo teigiamų ionų elektrolitų. Santykis $\frac{E}{m}$ lengviausios iš teigiamų dalelių yra lygus apskritai 10^4 elektromagnetinių vienetų, o tai, kaip jau mes žinome, yra elektrocheminis ekvivalentas vandenilio. O lengviausios teigiamos dalelės yra vandenilio ionai. Kitos teigiamos dalelės yra arba atomai kitų elementų, arba molekulos tų elementų, arba molekulos chemijos junginių, arba, pagaliau, atomų grupės (radikalai) teigiamų įlydžių. Thomsono konstatuota, kad tie įlydžiai yra lygūs arba vandenilio įlydžiui, kuris, kaip jau įrodyta augščiau, yra lygus elektrono įlydžiui, arba kartotini šito vandenilio įlydžio, vadinasi, 2, 3 ir t. t. syk didesni kaip vandenilio įlydis. Niekuomet Thomsono vamzdyje nepastebėta dalelių didesnio skaičiaus + įlydžių kaip 8. Labai dažnai gyvsidabrio atomai užsitaiso 2, 3 ir net 8 įlydžiais. Pagaliau, kas yra labai svarbu, Astono įrodyta su pagalba jo masių spektrografo, kad atomai to paties elemento gali būti įvairių masių, bet visuomet taip, kad tos masės galima išreikšti sveikais skaičiais, priėmus deguonies atomo masę už 16. Pavyzdžiui, chloras susideda iš atomų masių 35 ir 37, tuo tarpu chloro atominis svoris, chemijos analitiniais ir sintetiniais metodais nustatytas, yra lygus 35, 4. Taip pat argonas susideda iš atomų masių 36 ir 40, bromas iš atomų masių 79 ir 81 ir t. t. Vienu žodžiu, visi cheminiai elementai, kurių atominiai svoriai išreiškiami sveikais skaičiais su trupmenomis, pasirodo mišiniais atomų su masėmis, kurios išreiškiamos sveikais skaičiais. Panašūs dalykai buvo dar anksčiau radioaktingų medžiagų srityje fiziko Soddy konstatuoti. Jis įrodė, kad tas pats elementas gali charakterizuotis įvairiais atominiais svoriais, kitaip sakant, mes čia turėsim kaip ir du elementus įvairių atominių svorių, bet kurių chemiškai visiškai negalima atskirti vienas nuo antro

ir kurie reikia padėti toje pačioje vietoje periodinės elementų sistemos. Todel Soddy pavadino tokius elementus izotopais. Taigi, Astono įrodyta, kad izotopizmas yra gan paprastas apsireiškimas tarp chemiškų elementų ir tokiu būdu patvirtino Crookso hipotezę, paskelbtą dar 1888 metais, kad chemikų nustatyti atominiai svoriai yra tik statistiškai aritmetinis vidurys iš daugybės atominių masių, kurios sudaro vieną gramatomą to ar kito elemento. Taigi, Crookso nuomone, to paties elemento atomai masės atžvilgiu nevienodi, ir gramatomas yra agregatas didelio skaičiaus atomų įvairių masių. Pavyzdžiui, gramatomas chloro, sudarytas, sakysime, iš n chloro atomų atominio svorio 35 ir iš m to paties chloro atomų atomonio svorio 37, taip kad chemikas nustato šitam elementui statistiškai vidurinį svorį $\frac{35\ n + 37\ m}{n + m} = 35,4.$

Taigi, izotopų dėsnis sako, kad visi cheminiai elementai yra sudaryti iš vienos pagrindinės medžiagos. Mes jau matėme, kad elektronas yra sudėtinė dalis visų cheminių elementų. Bet atomas neutralus. Koksai gi elementas sudaro teigiamą atomo dalį? Remiantis Thomsono ir Astono tyrinėjimais, savaime veržiasi į galvą mintis, kad tą teigiamą atomo dalį sudaro vandenilio ionas, kuris Rutherfordo buvo pavadintas protonu. Tad, mes grįžtame prie Prouto hipotezės, einant kuria visi elementai sudaryti iš vandenilio, papildant šitą Prouto hipotezę ta prasme, kad neutralus atomas gali būti sudarytas tik kombinacija protonų ir elektronų. Kaip reikia suderinti tie protonai ir elektronai, kad išeitų pusiausvyros sistema, apie tai kalbėsime kiek vėliau. Čia tik paminėsime, kad atomo masė pareina nuo atomo teigiamo branduolio. Vadinasi, pareina nuo protonų, nes elektrono masė, kaip jau mes matėme, yra labai mažas dydis. Sutinkant, kad ir teigiamo branduolio masė yra elektromagnetinė, kaip ir elektrono masė, reikės sutikti, kad tasai atomo branduolis užima labai mažą dalį viso atomo tūrio. Vadinasi, reikės sutikti, kad branduolio elektros įlydžiai labai smarkiai sukoncentruoti. Tokiomis sąlygomis galima bus ir branduolio masei duoti elektromagnetinę interpretaciją.

Taigi, eidami išdėstytais faktais mes galėsime padaryti išvadą apie atomų sudėtingumą ir sutikti, kad atomai sudaryti iš teigiamos ir neigiamos elektros. Bet iki šiol tai yra tik hipotezė, kuri vienok randa didelę paramą radioaktingumo fenomenuose, kuriuos mes paliesime kitame paragrafe.

---

26 §. Radioaktingumas. Elementų transmutacija. Elektrinė atomo struktūra. W. Thomsono ir Rutherfordo atomo modeliai. Atominė energija.

Dar prieš išradimą Röntgeno spindulių prancūzas Becquerel'is įgarsėjo tyrinėtoju fosforescencijos ir fluorescencijos reiškinių. 1896 metais pasipažinęs su X - spinduliais, Becquerel'is ėmė ieškoti panašios radiacijos tokių medžiagų tarpe, kuriuos charakterizuojasi fosforescencija ir fluorescencija, turint galvoje, kad fosforescencija ir fluorescencija irgi yra radiacija, sužadinta dažniausiai ultra-violetiniais spinduliais. Gražus žalias urano stiklas, kuris charakterizuojasi gražia žalia fluorescencija, greitu laiku patvirtino Becquerel'io spėjimus. Becquerel'is pastebėjo, kad tas stiklas leidžia spindulius, kurie veikia fotografinę plokštelę ir net per popieriaus sluogsnį. Bet Becquerel'is įsitikino, kad šitie urano stiklo spinduliai ne X - spinduliai, o susideda iš neigiamų dalelių, visais atžvilgiais panašių į katodo daleles arba elektronus. Pagaliau Becquerel'is pastebėjo, kad dar smarkiau veikia fotografines plokšteles tam tikra urano rūdis, žinoma kaipo dervos rūdis, iš kurios chemikai gauna urano junginių. Šita rūdis gausiai leidžia neigiamas daleles, kurios ionizuoja orą, išlydina įelektrintus konduktorius, veikia fluorescencijos ekranus ir fotografinę plokštelę. Šitą urano rūdies ypatybę Becquerel'is pavadino radioaktingumu, nuo žodžio radius, spindulys, turėdamas galvoj, kad šita medžiaga leidžia energiją spindulių pavidalu.

Toliau, šituo Becquerel'io išradimu susidomėjo ponas ir ponia Curie, vyras ir žmona. Ponas Curie buvo Sorbonos, Paryžiuje, fizikas, o ponia Curie, kilusi iš Varšuvos, Skladowska, buvo jo asistentė ir buvo žinoma Paryžiuje rimtu chemiku. Jiedu

pradėjo ekstrahuoti iš urano rūdies įvairias medžiagas, sekdami tų medžiagų radioaktingumą. Įsivaizduokime elektroskopą su lėkšte, ant kurios uždėta radioaktinga medžiaga (trupinėlis), o viršuj šitos lėkštės kita lėkštė sujungta su žeme. Tokiomis sąlygomis užtaisytas elektriškai elektroskopas bus išlydytas, nes radioaktinga medžiaga ionizuoja orą tarp lėkščių, tokiam ore susidaro konvekcijos elektros srovė ir ta srovė išlydo elektroskopą. Savaime aišku, kad užtaisytas ligi tam tikro potencialo elektroskopas juo greičiau bus išlydytas, juo smarkesnis medžiagos radioaktingumas. Taigi, tokiu elektroskopu galima sulyginti radioaktingumai įvairių medžiagų ir sekti to radioaktingumo stiprėjimas, koncentruojant tą ar kitą ekstraktą iš urano rūdies. Einant šituo metodu ir taikant tobuliausius chemiškos analizės metodus, poniai Curie pasisekė per ilgą laiką, padėjus daug triūso, perdirbus kuo ne toną urano rūdies, gauti preparatas nepaprastai didelio radioaktingumo. Tasai preparatas iš pradžios buvo gautas kartu su bario chloridu ir paskui frakcine kristalizacija atskirtas nuo šito bario chlorido. Poniai Curie buvo išsyk aišku, kad ji tokiu būdu gavo halogenidą naujo elemento, priklausančio tai pačiai periodinės sistemos grupei, kaip ir elementas baris, nes spektroskopiškas tyrinėjimas gauto preparato aiškiai parodė naujas linijas, kurių negalima buvo priskirti nė vienam iš žinomų elementų. Kiek vėliau poniai Curie pasisekė iš šito preparato gauti naujas metalas su nepaprastomis savybėmis. Remdamasi jo nepaprastu radioaktingumu, ponia Curie pavadino šitą metalą radium (preparatas, kurį gavo p. Curie iš urano rūdies, buvo radio bromidas). Atominis svoris šitam radiui buvo nustatytas 226.

Nepaprastos savybės šito naujo elemento radio ir jo junginių nustebino chemikus ir fizikus. Radius ir jo junginiai yra nepaprastai aktingoje būklėje, leisdami, taip sakant, permanentiškai didelius kiekius energijos pavidalu spindulių, ir tasai jų radioaktingumas nepasiduoda įtakai išorinių veiksmų. Tai rodo, kad radius ir jo prepatatai rodo tą patį aktingumą ir prie temperatūros skysto vandenilio, t. y. apie—250° ir prie didžiausio karščio. Taip pat radioaktingumas pasilieka tas pats, ar mes paimsime radio junginį su vienu elementu ar su kitu elementu, sakysime, ar mes paimsime radio bromidą ar radio sulfatą.

Spinduliai, kuriuos nuolat leidžia radio preparatas, yra trijų rūšių. Vieni spinduliai susideda iš, sulyginti, sunkių teigiamai užtaisytų dalelių, kurios atlenkiamos magnetiniu ir elektrostatiniu laukais taip, kaip atlenkiama teigiamos elektros srovė. Rutherfordas suskaitė sunkias daleles, kurias išmeta radio preparatas per tam tikrą laiką, ir nustatė jų elektros įlydį. Pasirodo, kad tokios sunkios dalelės elektros įlydis yra lygus $9{,}44.10^{-10}$ elektrostatinių vienetų, arba $\frac{9{,}44.10^{-10}}{3.10^{-10}} = 3{,}14.10^{-20}$ elektromagnetinių vienetų. Tai rodo, kad tokios dalelės elektros įlydis yra dusyk didesnis kaip elektrono įlydis, kuris, kaip jau mes matėme, yra lygus $1{,}57.10^{-20}$ elektromagnetinių vienetų. Tas pats Rutherfordas, atlenkdamas šitas sunkias daleles magnetiniu ir elektrostatiniu laukais, nustatė joms santykį $\frac{M}{E} = 1{,}97.10^{-4}$ = apskritai 2.10^{-4}. Vandenilio ionams šitas santykis yra lygus 10^{-4}. Taigi pasirodo, kad šitos sunkios dalelės yra 2 syk sunkesnės kaip vandenilis. Vadinasi, šitų dalelių atominis svoris yra lygus 4. Lengviausias elementas iš eilės po vandenilio yra helijus, kurio atominis svoris yra lygus 4. Taigi pasirodo, kad sunkios dalelės, kurias gausiai išmeta radio preparatai, yra ne kas kita, kaip dvivalentingi helijaus ionai (helijaus atomai, užtaisyti dviem įlydžiais+elektros). Šitos dalelės buvo pavadintos α-dalelėmis, arba α-spinduliais. Radio preparatai išmeta tas daleles itin dideliais greitumais— ligi 20000 klm. per sekundą. Taigi, šitos dalelės turi didelę kinetinę energiją, ir todel jos smarkiai ionizuoja orą ir smarkiai veikia fluorescencijos ekranus. Viena α-dalelė, lėkdama su dideliu greitumu ir suduodama į oro molekulas, sudaro apie 100.000 ionų, kol nustoja savo energijos. Kiekviena α—dalelė, suduodama į fluorescencijos ekraną, sakysime, į popierių, apklotą plonu sluogsniu cinksulfido, sudaro žybtelėjimą. Remdamasis šituo faktu, Crooksas padirbo labai paprastą aparatą, kuris įgalino matyti α-dalelių smūgius ir suskaityti, kiek α-da-

elių per tam tikrą laiką suduoda cinksulfido ekraną. Tai yra trumpas misinginis vamzdis, kuriame vidury padėtas ant vielos mikroskopiškas trupinėlis radio preparato (radio bromido Rd Br_2). Vienas to vamzdžio galas uždarytas dangčiu, kuris iš vidaus apklotas cinksulfido ekranu. Ant antrojo vamzdžio galo randasi lupa, per kurią žiūrima į ekraną vamzdyje. Žiūrint patamsėj (tamsiam kambario užkampy), galima matyti daugybė kibirkštėlių, kurias sudaro α-dalelės, išmetamos iš radio preparato ir suduodamos į ekraną. Šitas aparatas vadinamas spintariskopu. Taigi Rutherfordas ir skaitė α-daleles, sekdamas žybtelėjimus, kuriuos duoda α-dalelės, suduodamos į fluorescencijos ekraną, o jų įlydį jis nustatė užtaisydamas jomis Faraday'aus cilinderį, sujungtą su jautriu elektrometru. Vadinasi, elektrometru buvo išmatuotas elektros kiekis, suteiktas Faraday'aus cilinderiui žinomu skaičium α-dalelių. Del smarkios ionizacijos, kurią sudaro α—dalelės, visi radio preparatai šviečia patamsėj ir, be to, turi visuomet gangreit 2^0 augštesnę temperatūrą kaip aplinkos temperatūra. Iš pradžios šitas nepaprastas elgesys radio preparatų buvo tiesiog nesuprantamas, kol buvo konstatuota didelė kinetinė energija α-dalelių. Tos dalelės atsiranda iš radio ir dalis jų nustoja savo energijos, susidurdamos su radio druskos radio ir bromo atomais. Taigi šita jų energija ir yra nuolatinis šilimos išteklius, kuris palaiko radio preparato temperatūrą viršuj apylinkos temperatūros. Pagaliau, didelė kinetinė energija α-dalelių reiškiasi dar tuo, kad veikiant joms, sakysime, vandenį, pasirodo vandenilis ir deguonis. Vadinasi, jos savo energija suskaldo vandenį. Bet ne tik vandenį. Rutherfordui pasisekė suskaldyti α-dalelėmis atomus kai kurių elementų, būtent: azoto, deguonies, boro, fluoro, aluminio ir fosforo. Išėmus deguonį, visi kiti elementai, skaldant juos α-dalelėmis, davė vandenilį ir helijų, o deguonis davė tik helijų.

Kita rūšis spindulių, kuriuos permanentiškai leidžia radio preparatas, yra vadinami β — spinduliais. Pasirodo, kad jie niekuo nesiskiria nuo katodo dalelių, arba elektronų, išėmus tik greitumą. Šitos β-dalelės yra neigiamai įelektrintos dalelės ir atlenkiamos magnetiniu ir elektrostatiniu laukais daug smarkiau kaip α-dalelės ir priešinga kryptimi. Šituo atlenkimu nustatytas joms santykis $\frac{M}{E} = 5.65.\ 10^{-8}$. Tai yra, tas pats kaip elektronams. Bet greitumas šitų β-dalelių yra daug sykių didesnis kaip katodo dalelių greitumas, būtent, yra lygus 100000 — 200000 kilometrų per sekundą. Šitomis β-dalelėmis naudojosi profesorius Kaufmanas savo bandymuose, kuriais jis įrodė, kad, artinantis dalelių greitumui prie šviesos greitumo, dalelių masė auga. Šitie bandymai paminėti anksčiau. β-dalelės, išmetamos radio preparato, reiškia visus tuos fenomenus kaip ir elektronai, tiktai žymiai smarkiau. Taip tos β-dalelės gali prasiskverbti net per stiklo sluogsnį, o elektronai neprasiskverbia per katodo vamzdžio stiklą.

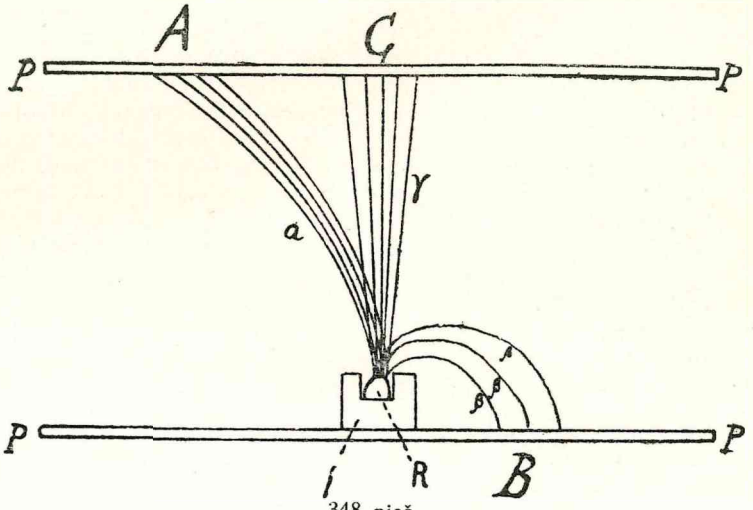
Pagaliau trečią rūšį spindulių, leidžiamų radio preparatais, sudaro vadinami γ-spinduliai. Tų spindulių neveikia nei magnetinis nei elektrostatinis laukai. Jie, tad, neatlenkiami ir, aplamai, visomis savo savybėmis yra panašūs į kietus X-spindulius. γ-spinduliai yra ypatingai kieti X-spinduliai, nes jie gali prasiskverbti net per švino sluogsnį 2—3 cm. storumo. Mažiausia gali prasiskverbti per medžiagos sluogsnį α-dalelės. Oro sluogsnis apie 6 cm. storumo jau žymiai absorbuoja šitas α-daleles.

Kaip X-spinduliai susidaro suduodant elektronams į medžiagą, taip ir γ-spinduliai susidaro suduodant β-dalelėms į paties radio preparato medžiagą. 348 piešinys rodo, kaip galima perskirti radio preparato pernamentiškai leidžiantieji spinduliai. Radio preparatas randasi čia mažutėje švino dėžutėje cilinderio pavidalu su maža skyle viršuje. Ta švino dėžutė padėta ant fotografinės plokštelės PP. 2 — 3 cm. augščiau šitos dėžutės randasi kita fotografinė plokštelė PP. Abidvi fotografinės plokštelės apvyniotos juodu popierium. Veikiant magnetiniu arba elektrostatiniu laukais, smarkiausiai bus atlenktos lengvos β-dalelės ir duos efektą ant apatinės fotografinės plokštelės vietoje B. Priešinga kryptimi, bet silpniau, bus atlenktos α-dalelės ir duos efektą ant viršutinės fotografinės plokštelės vietoje A. Visiškai nebus atlenkti γ-spinduliai ir duos efektą pačiam vidury viršutinės fotografinės plokštelės vietoje C. Remiantis atlen-

kimu magnetiniu arba elektrostatiniu laukais ir nevienodu sugebėjimu prasiskverbti pro įvairaus storumo medžiagos sluogsnius, galima atskirti α ir β-dalelės ir sekti jų ypatybės atskirai.

Anksčiau mes pažymėjome kenksmingą fiziologinį X-spindulių veikimą. Turint galvoje γ-spindulių kietumą ir nepaprastą energiją α ir β-dalelių, radio preparatai veikia dar smarkiau, kaip Röntgeno spinduliai, ir todel su tais preparatais reikia elgtis labai atsargiai. Tokie preparatai laikomi švino dėžutėse ir, darant su jais bandymus, reikia griebtis įvairių priemonių, norint apsisaugoti nuo jų veikimo.

Aprašytas čia radio aktingumas reiškiasi aplamai elementuose paskutinės eilės periodinės sistemos, tai yra toryje ir urane, kitaip sakant, junginiai torio ir urano yra radioaktingi ta pačia prasme, kaip jau aprašyta del radio preparatų. Vadinasi, torio ir urano junginiai leidžia nuolat α-daleles, β-daleles ir γ-spindulius, tik silpniau kaip radio preparatai. Todel fizikas, tirdamas radioaktingumą, dažniausiai naudojasi radio preparatais. Reikia vienok pasakyti, kad 1 gramas radio arba atatinkamas kiekis radio bromido yra keletą tūkstančių sykių brangesnis kaip toks pat kiekis aukso todel, kad gaminant 1 gramą radio reikia perdirbti bent tonas urano rūdies, ir šitas darbas reikalauja daug laiko ir privalo visos eilės gan painių ir ilgų chemiškų operacijų. Todel fizikas retai turi savo rankose daugiau radio preparato kaip keletą miligramų.

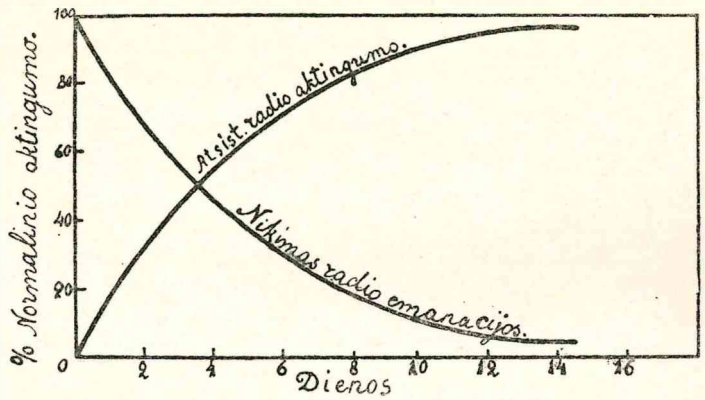


348 pieš.

Be aprašytų fenomenų, radio preparatai, lygiai kaip torio ir urano junginiai, duoda dar vadinamų aktingų emanacijų. Ištirpinus labai mažą kiekį radio bromido ar kito kokio radio preparato vandeny, galima surinkti labai mažas kiekis dujiškos medžiagos. Šita dujiška medžiaga galima išvaryti iš radio preparato ir kaitinant jį arba vakuume. Šita dujiška medžiaga yra aktinga ta pačia prasme, kaip ir radio preparatas. Bet per tam tikrą laiką nustoja visiškai savo aktingumo, ir tada iš jos pasidaro kietas kūnas, kuris dažniausiai ploniausio sluogsnio pavidalu randasi ant stiklo indo sienų, kuriame buvo minėta dujiška medžiaga, vadinama emanacija. Šita emanacija nustoja pusės savo aktingumo per 3—5 dienas. Bet, nuostabus dalykas, kad per tą patį laiką iš radio preparato susidaro vėl tiek pat emanacijos, kiek jos išnyko. Profesoriui Ramsay'ui pasisekė nustatyti emanacijos tankumas, nepaisant to, kad savo rankose jis turėjo tik $^1/_{10}$ m/m^3. emanacijos. Iš to tankumo prof. Ramsay'us apskaitė jos molekulinį svorį 222. Kadangi emanacija visais atžvilgiais yra panaši į neaktingas oro dujas, kaip helis, argonas, kriptonas, tai ir šita emanacija yra sudėta tik iš vienatominių molekulų. Vadinasi, atominis jos svoris bus 222. Tai yra elementas nitonas nulinėje grupėje ir paskutinėje eilėje periodinės sistemos. Paminėsime dar, kad prof. Ramsay'ui pasisekė prie temperatūros — 65°C paversti šita emanacija skystimu. Kietas kūnas, kuris susidaro iš emanacijos, nepakankamai ištirtas, kad galima būtų apie jį kalbėti aiškiau.

Kadangi emanacija išvaroma iš radio preparato, ir per tą patį laiką, per kurį išnyksta pusė tos emanacijos, radio preparatas atstato tokį pat kiekį emanacijos, tai iš

šito fakto galima padaryti tik viena išvada, būtent ta, kad šita emanacija susidaro iš radio atomų. Vadinasi, reikia manyti, kad radio atomas skyla ir iš jo atomo susidaro atomai kitų medžiagų. Šita nuomonė randa stiprios paramos dar ir iš kitos pusės. Radio atominis svoris yra lygus 226, o emanacijos atominis svoris 222. Radio atomas, tad, nustoja keturių vienetų ir duoda naują atomą. Kur gi tie keturi vienetai? Reikia spėti, kad tai yra α-dalelės, kurios, kaip jau mes matėme, yra helio atomai, užtaisyti dviems + įlydžiais. Tos α — dalelės, turėdamos didelę kinetinę energiją, prasiskverbia pro plonus sluogsnius įvairios medžiagos, pavyzdžiui stiklo. Prof. Ramsay'us atliko tokį eksperimentą. Jis paėmė stiklo vamzdį, į kurį buvo įlydytas kitas stiklo vamzdis su plonomis sienomis. Į tarpą tarp tų stiklo vamzdžių buvo įlydyti platinos elektrodai. Vidurinis stiklo vamzdis ir tarpas tarp vidurinio ir išorinio buvo evakuoti. Į vidurinį vamzdį buvo leidžiama radio emanacija, kuri, kaip ir pats radius, duoda α-daleles, o per tarpą tarp abiejų vamzdžių su pagalba platinos etektrodų buvo varomi elektros išlydžiai nuo induktoriaus. Nustačius ant šito tarpo spektroskopą, per kurį laiką buvo pastebėta charakteringa geltona helio linija, kuri ilgainiui sustiprėjo. Taigi, α-dalelės dalinai prasiskverbė pro stiklą vidurinio vamzdžio, bet prasiskverbdamos nustojo savo elektros įlydžių ir virto paprastu heliu. Tokiu būdu Ramsay'us, o paskui Rutherfordas, įrodė, kad išmetamos radio α-dalelės virsta heliu. Vadinasi, radio atomas virsta atomu helio ir atomu emanacijos.



349 pieš.

Santykius tarp radio druskos ir emanacijos, apie kuriuos trumpai paminėta augščiau, atsidėję ištyrė Rutherfordas ir Soddy. Radio bromidas (Rd Br_2) buvo ištirpintas vandeny ir to tirpalo virinimu buvo išvaryta ir surinkta atskirame inde emanacija. Išgaravus virinimu vandenį, radio druska vėl buvo gauta kristalinėje būklėje ir su pagalba elektrometro ir ionizacijos kameros buvo sekamas aktingumas kaip radio druskos, atpalaiduotos nuo emanacijos, taip ir pačios emanacijos. Pasirodė, kad radio druskos aktingumas, pašalinus iš jos emanaciją, sumažėjo ligi 25% normalaus aktingumo, laikant normaliniu aktingumu aktingumą radio, esamos druskoje emanacijos ir kieto depozito, kurį palieka nykstanti emanacija. Kadangi kietas depozitas, sulyginti, greitai nustoja visiškai aktingumo (per keletą valandų), tai, pašalinus iš radio druskos emanaciją, galima tikėti, kad pasilieka tik radio aktingumas, ir tasai aktingumas reiškiasi tik išmetimu α-dalelių. Bet ilgainiui radio druskos aktingumas auga, o emanacijos aktingumas tuo pačiu laiku mąžta. Įdomus dalykas, kad per tą laiką, per kurį emanacija nustoja aktingumo, radio druska atstato savo normalų aktingumą. Aplamai, kiek per tam tikrą laiką emanacija nustoja savo aktingumo, tiek per tą patį laiką radio druskos aktingumas pakyla, taip kad kiekvienu momentu suma emanacijos ir radio aktingumų yra lygi normaliam radio druskos aktingumui. Šituos santykius atvaizduoja 349 piešinio diagrama. Čia ant abscisos atidėtas laikas dienomis, o ordinatomis radio ir emanacijos aktingumas normalinio aktingumo procentais. Viena iš abiejų kreivųjų atvaizduoja emanacijos aktingumo kritimą, o antra kreivoji radio druskos aktingumo atstatymą. Kaip rodo diagrama, per 4 dienas emanacijos aktingumas krinta ligi pusės normalinio aktingumo. Per tą patį laiką radio druskos aktingumas pakyla ligi $^1/_2$ normalinio aktingumo. Toliau atsikartoja tas pats, taip kad bet kuriam laikui suma aktingumų emanacijos ir radio druskos yra lygi normaliniam radio

druskos aktingumui. Iš šito fakto galima padaryti tik viena išvada: emanacija susidaro iš radio ir susitaupo radio druskoje. Toje pačioje druskoje emanacija virsta aktingu kietu depozitu. Bet kiek per tat emanacijos išnyksta, tiek jos atstato vėl radius. Aprašyti santykiai atsikartoja ir kitoms radioaktingoms medžiagoms. Pavyzdžiui, uranas išmeta α-dalelę ir virsta uranu X. Pastarasis per 23 dienas nustoja pusės savo aktingumo, o uranas per tą patį laiką atstato tiek pat savo aktingumo, taip, jog išreikšdami šituos procesus grafiškai, gausime dvi kreivas, visiškai panašias į kreivas 349 piešinio. Pagaliau svarbu pabrėžti, kad paprastomis fiziškomis arba chemiškomis priemonėmis negalima pakeisti aprašyto čia proceso. Taigi, reikia manyti, kad tas procesas nieko bendro neturi su paprastomis molekulinėmis ir chemiškomis reakcijomis, kurių bėgis galima keisti keičiant išorines reakcijos sąlygas, bet yra surištas su atomo išvidine struktūra.

349 piešinio kreivosios rodo, kad greitumas, kuriuo krinta emanacijos aktingumas arba kuriuo atsistato radio druskos aktingumas, visiškai nepareina nuo druskos arba emanacijos koncentracijos, o pareina tik nuo viso kiekio druskos arba emanacijos. Vadinasi, per vienetą laiko emanacijos aktingumas krinta visuomet ta pačia trupmena aktingumo, kurį emanacija reiškia iš pradžios šito laikotarpio. Tas pats reikia pasakyti apie radio druskos aktingumo atsistatymą. Jeigu per 4 dienas emanacijos aktingumas nukrinta ligi pusės pirmykščio aktingumo, tai per kitas 4 dienas tas aktingumas vėl nukrinta per pusę normalinio aktingumo pusės ir t. t. Tad, aktingumas bus čia išreikštas progresija: $1 : {}^1/_2 : {}^1/_4 : {}^1/_8 \ldots$ Toksai procesas visuomet išreiškiamas logaritminėmis kreivomis, ir jis yra charakteringas monomolekulinėms chemiškoms reakcijoms, kaip, pavyzdžiui, disociacija, cukraus inversija, esterio hidrolizė. Kadangi negalima paveikti išoriniais veiksmais aprašytų radioaktingumo procesų eigos, tai reikia manyti, kad šitas procesas yra ne molekulinis, o atominis, kad čia mes turime darbo su atomo dezintegracija. Šita atomo dezintegracijos teorija buvo Rutherfordo paskelbta remiantis pono ir ponios Curie'ų, savo paties, Soddy's ir kitų tyrinėjimais. Einant šita teorija, nepaprastai dideli energijos kiekiai, kuriuos atpalaiduoja ta ar kita radioaktinga medžiaga, yra išdava tos medžiagos atomų spontaniško skilimo.

Kad radioaktingumo vaizdą padarytume aiškesnį, duosime čia urano atomo dezintegracijos lentelę. Šita lentelė sustatyta remiantis visos eilės tyrinėtojų eksperimentų duomenimis.

	Atominis skaičius	Atominis svoris	Laikas, per kurį aktingumas nukrinta ligi pusės	Aktingumo būdas
Uranas	92	238	5.10^9 metų	α
↓ Uranas X_1	90	234	23,5 dienų	β,γ
↓ Uranas X_2	91	234	1,17 min.	β,γ
↓ Uranas II	92	234	2.10^6 metų	α
↓ Uranas Y	? 90	? 230	25,5 val.	β
Jonis	90	230	2.10^5 metų	α
↓ Radius	88	226	1730 metų	α

	Atominis skaičius	Atominis svoris	Laikas, per kurį aktingumas nukrinta ligi pusės	Aktingumo būdas
Radio emanacija	86	222	3,85 dienų	α
↓ Radius A	84	218	3,05 min.	α
↓ Radius B	82	214	26,8 min.	β,γ
↓ Radius C	83	214	19,5 min.	α,β,γ
↓α Radius C_2	81	210	1,38 min	β,γ
↓β Radius C_1	84	214	? 10^6 sek.	α
↓ Radius D	82	210	16,5 metų	β,γ
↓ Radius E	83	210	4,85 dienų	β,γ
↓ Radius F (Polonius)	84	210	136 dienos	α
↓ Radio — švinas	—	206	—	—

Šita lentelė rodo, kaip iš atomo urano per visą eilę tarpinių padarų susidaro švino atomas. Uranas išmeta α-daleles ir virsta nauju elementu uranu X_1. Išmesdamas α-dalelę, uranas nustoja dviejų + įlydžių ir todel valentingumas urano X_1 yra dviem vienetais žemesnis. Uranas randasi VI grupėje periodinės sistemos. Uranas X_1, tad, reikia padėti periodinės sistemos IV grupėje. Svarbu atkreipti dėmesys į tai, kad pusė urano virsta uranu X_1 per penkis tūkstančius milijonų metų. Vadinasi, uranas visgi labai patvarus padaras. Bet uranas X_1 gyvuoja daug trumpiau, nes jis nustoja pusės savo aktingumo jau per 23,5 dienas. Uranas X_1 išmeta β-dalelę ir duoda uraną X_2. Vadinasi, valentingumas urano X_2 yra vienetu didesnis kaip valentingumas urano X_1 (nuostolis vieno elektrono reiškia tą patį, kaip ir įsigijimas vieno + įlydžio). Taigi, uranas X_2 reikia padėti periodinės sistemos V grupėje. Uranas X_2 gyvuoja dar trumpesnį laiką kaip uranas X_1, nes jis nustoja pusės savo aktingumo per 1,17 minutės. Išmesdamas dar vieną β-dalelę, uranas X_2 virsta uranu II. Šitas uranas II reikia vėl padėt periodinės sistemos VI grupėje ir kaip tik toje pačioje vietoje, kurią užima uranas, nes jo valentingumas ir visos jo fiziškai chemiškos savybės yra tokios pat kaip urano. Uranas II yra irgi itin patvarus padaras, nes jis nustoja pusės savo aktingumo per 2 milijonus metų (žiūr. lentelę). Vadinasi, uranas ir uranas II yra du chemiški elementai su atominiais svoriais 238 ir 234, kurių chemiškomis priemonėmis perskirti negalima. Tai yra izotopai, kurie ir buvo konstatuoti Soddy nagrinėjant transmutaciją urano junginių ir torio junginių. Pagaliau, sekdami skilimą urano atomo toliau per joną, per radijų ir visą eilę kitų elementų, mes pasieksime elementą su atomine mase 206. Soddy'ui iš urano rūdžių pasisekė gauti šviną atominio svorio 206, o tuo tarpu žinomas chemikams švinas turi atominį svorį 207. Taigi negalėjo būti jokios abejonės, kad ištrauktas iš urano rūdžių švinas yra galutinis produktas urano atomo skilimo, kiek galima buvo šitas skilimas susekti eksperimentu, ir kad tas skilimo produktas yra izotopas žinomo chemikams švino.

Kaip jau pažymėta, radioaktingumą reiškia patys sunkieji elementai, toris ir uranas, ir jų radioaktingumas yra jų atomų dezintegracijos vaisius. Šita dezintegracija uranui ir toriui yra labai ryški ir savaime krinta, taip sakant, į akis. Bet kadangi toris ir uranas yra visais atžvilgiais tipiški cheminiai elementai, tai kyla klausimas, ar radioaktingumas yra išimtinis reiškinys, charakteringas tik kai kuriems elementams, ar tai yra bendras elementų pažymys. Reikia pasakyti, kad pastangos konstatuoti radioaktingumą lengvesniems elementams ligi šiol davė labai maža vaisių. Pavyzdžiui, konstatuota, kad kalis leidžia gana daug β - dalelių, bet visgi jo aktingumas sudaro tik 1% urano aktingumo. Tokius pat efektus rodo rubidis ir cesis. Bet yra pagrindo manyti, nepaisant eksperimento neigiamų vaisių, kad radioaktingumas yra bendras materijos pažymys ir yra surištas su atomų transmutacijomis. Tai galima tvirtinti remiantis vien tik tuo faktu, kad, nesant ore radiokatingos medžiagos, oras visuomet šiek tiek ionizuotas. Tiesa, žemės akmens ir mineralai turi labai mažus kiekius radio, ir per tat jie yra, nors ir labai silpnai, radioaktingi, ir jų emanacijos gali ionizuoti orą. Bet konstatuota, kad oras švino arba vario inde, kurio sienos nepereinamos radioaktingoms emanacijoms, visgi būna ionizuotos. Taigi, remiantis šitais faktais, yra rimto pamato manyti, kad visi chemiški elementai yra radioaktingi, tiktai lengvesnių elementų atomai sudaro daug pastovesnes sistemas, kaip, sakysime, urano arba torio atomai, kurie, matyti, del jų sudėtingumo yra nepastovios pusiausvyros būklėje. Bet ir apie urano atomų arba radio atomų nepastovumą galima kalbėti tik relatyviai, nes iš privestos lentelės matyti, kad urano atomo amžius reikia laikyti 1000 milijonų metų. Koks gi tada turi būti amžius lengvesnių elementų atomų? Taigi praktiškos, taip sakant, reikšmės šita atomų dezintegracija neturi. Praktiškai nėra jokio pavojaus, kad fizinio pasaulio materija subirės į elektros atomus. Bet teoretiškai tai yra labai įdomus ir svarbus dalykas. Astronominiai tyrinėjimai rodo, kad visos jaunesnės žvaigždės sudarytos tik iš vandenilio, helio ir poros trejeto kitų lengvesnių elementų, nes tokių žvaigždžių spektre pastebima tik linijos šitų lengviausių elementų. Juo senesnė žvaigždė, juo daugiau sunkesnių elementų, ir ypatingai daug sunkesnių elementų žemės medžiagoje. Taigi, ant žemės mes turime progos sekti atomų dezintegraciją ir net pamatyti jųjų mirtį, pamatyti galutinius atomo skilimo produktus — β - daleles (elektronus) ir vandenilio branduolius. Kas darosi toliau su šitomis dalelėmis ir kurioje vietoje erdvės ir kuriomis aplinkybėmis užgimsta patys lengvieji elementai, sunku pasakyti. Bet šiaip ar taip, radioaktingų medžiagų chemija rodo mums iškilmingą vaizdą elementų transmutacijos ir išmuša pamatą idejai elementų amžino tvarumo, kuri ideja viešpatavo antroje pusėje XIX amžiaus. Elementai gimsta, gyvuoja, sensta ir miršta kaip ir visi kiti dalykai fiziniam pasaulyje.

Remiantis radioaktingumo reiškiniais, tenka žiūrėti į atomą kaipo į sudėtinį padarą. Taip pat ir elementų spektrų iš vienos pusės painumas, o iš antros pusės atsikartojimas tų pačių linijų serijų įvairių elementų spektruose aiškiai rodo į sudėtinę atomų struktūrą. Elektros išlydžių tyrinėjimai smarkiai praskiestose dujose atvedė prie išradimo elektrono, kuris pasirodė bendra sudėtinė dalis visokios rūšies atomų. Tyrinėjimai teigiamų spindulių konstatavo, kad mažiausios teigiamos dalelės yra vandenilio atomai, užtaisyti teigiamu įlydžiu tokio pat didumo, kaip elektrono įlydis. Pagaliau, visos radioaktingos transmutacijos duoda α-daleles, kurios yra dvivalentingi helio ionai. Kadangi yra visa eilė elementų, kurių atominė masė yra kartotina helio atominės masės, tai visiškai natūraliu būdu prieita buvo hipotezė, kad atomai bent tokių elementų sudaryti iš elektronų (atomo elektroneigiama dalis) ir α-dalelių arba helio ionų (elektroteigiama atomo dalis). Anksčiau jau paminėta, kad Rutherfordui pasisekė, veikiant α-dalelėmis azoto, fluoro ir t. t. atomus, kurių atominė masė yra kartotina helio atominės masės plius atominė masė 1, 2 arba 3 vandenilio atomų, išmušti iš tų atomų vandenilis. Remiantis tuo hipotezė atomo struktūros buvo papildyta ta prasme, kad, aplamai, elektroteigiama dalis atomo, elektroteigiamas atomo branduolis sudarytas iš helio branduolių ir vandenilio branduolių. Paskui buvo manoma, kad helio branduolis sudarytas iš keturių vandenilio branduolių, arba protonų. Ta aplinkybė, kad masė keturių vandenilio branduolių yra lygi 4,032, o helio atominė masė yra 4, buvo interprepretuojama

ta prasme, kad, susidarant helio atomui, iš vandenilio branduolio dalis vandenilio masės, būtent 0,008, skaitant kiekvienam vandenilio atomui, virsta energija. Tokia interpretacija remiasi vienu iš pagrindinių relatyvumo teorijos dėsnių apie ekvivalentingumą masės ir energijos. Taigi, manant, kad ir vandenilio branduolio arba vandenilio protono masė yra taip pat elektromagnetinė, kaip ir elektrono masė, buvo prieita hipotezė apie elektrinę atomo sudėtį. Į atomą pradėta žiūrėti kaipo į padarą iš teigiamos ir neigiamos elektros. Neigiamą atomo dalį sudaro elektronai, o teigiamą dalį vandenilio protonai. Kadangi elektronų masė yra labai maža, tai atomo masė, galima sakyti, išimtinai pareina nuo teigiamos atomo dalies. Reikia pasakyti, kad išdėstyta čia pažiūra į atomo struktūrą puikiausiai atatinka radioaktingumo žinomiems faktams, nes visos radioaktingos transmutacijos yra surištos su išmetimu α ir β-dalelių. Bet šita pažiūra palengvina ir supratimą visos eilės optiškų fenomenų, kaip absorbcija, emisija, spektrai ir sudvigubinimas arba sutrigubinimas spektrų linijų magnetiniam lauke. Pastarasis paminėtas čionai fenomenas buvo numatytas Olandų fiziko Lorentzo iš anksto, einant hipoteze, kad atomo elektronai yra židiniai elektromagnetinių bangų, kurias mes vadiname šviesos bangomis.

Bet kaip suderinti elektronai ir teigiamas branduolis, kad jie sudarytų sistemą pusiausvyroje? Juk ir sunkiausių radioaktingų elementų atomai, kurie gali egzistuoti milijonus metų, kaip urano atomas, yra pusiausvyroje, tiktai ne tokioje pastovioje pusiausvyroje, kaip lengvesnių elementų atomai. Iš pradžios lordas Kelvinas pasiūlė savo atomo modelį. Kelvino nuomone, elektroteigiama atomo dalis užima visą atomo tūrį, o elektronai, įterpti į šitą elektroteigiamą sferą, atkartojant žodžius Kelvino, kaip rozinos į tešlą. Toki sistema yra pusiausvyroje, ir Juozapas Thomsonas išplėtė toliau šitą Kelvino modelį ta prasme, kad jis matematiškai įrodė, kaip pasidalija 2, 3, 4 ir t. t. elektronai tokioje teigiamoje sferoje, kad atomas būtų pusiausvyroje. Bet šitas atomo modelis nesuderinamas su išsklaidymo α-dalelių faktais, Rutherfordo nustatytais. Pastarasis sekė prasiskverbimą α-dalelių pro plonus medžiagos sluogsnius, tarp kita ko pro plonus sluogsnius įvairių metalų, ir konstatavo, kad didžioji dalis α-dalelių prasiskverbia pro plonus sluogsnius metalų visiškai neatsilenkdama nuo savo tiesialinių orbitų ir tik maža dalis tų dalelių, veikiant elektros atsparos jėgoms tarp α-dalelės ir metalo atomo elektroteigiamo branduolio, atsilenkia nuo tiesialinės orbitos. Iš to Rutherfordas padarė išvadą, priešingą lordo Kelvino nuomonei, būtent, kad branduolis užima labai mažą dalį viso atomo tūrio, taip kad į šitą branduolį galima žiūrėti kaipo į tašką. Iš bandymų Rutherfordo su išsklaidymu α-dalelių pasirodo, kad branduolio stipinas ne didesnis kaip 10^{-12} cm., tuo tarpu atomo stipinas yra apie 10^{-8} cm. Taigi išeina, kad atomo branduolio užimtas tūris sudaro tik $\frac{1}{10^{12}}$ dalį viso atomo užimto tūrio. Todel Rutherfordas manė, kad atomo branduolis sudaro centrą, apie kurį orbitomis sukasi elektronai, kaip planetos apie saulę, nes tiktai sukantis elektronams gali būti pusiausvyra tarp jų ir branduolio, kaip planeta tiktai sukdamasi tam tikru greitumu apie saulę gali pasilikti savo orbitoje. Taigi, atomas yra panašus į saulės sistemą su jos planetomis. Centralinio kūno, saulės, užimtas tūris yra labai mažas dydis, sulyginti su tuo tūriu, kurį užima visa saulės sistema. Taip pat ir teigiamo branduolio užimtas tūris yra labai mažas dydis, sulyginti su visu atomo užimtu tūriu.

Kadangi elektronų virpėjimai orbitomis sudaro elektromagnetines bangas, tai, einant Rutherfordo hipoteze, atomas nuolat atiduoda energiją, kitaip sakant, elektrono energija mažėja, elektronai artinasi prie branduolio ir pagaliau turi su tuo branduoliu susijungti. Be to, pažymėtos čia energijos atidavimas turėtų duoti toliydinį spektrą, nes sekant spektrą, sakysime, vandenilio, bus daugybė atomų su elektronais, kurie virpės orbitomis įvairaus atokumo nuo branduolio, vadinasi, sudarys sistemą su begaline įvairenybe periodų. Taigi, tas faktas, kad atomai visgi sudaro labai pastovias pusiausvyros sistemas, lygiai kaip ir faktas, kad atomai duoda linijinių spektrų, prieštarauja Rutherfordo hipotezei. Toliau mes pamatysime, kad šita hipotezė buvo papildyta ir pataisyta, o čia tik konstatuosime, kad šiandien vis delto dominuoja Rutherfordo hipotezė, nors nemaža yra šalininkų ir Thomsono atomo modelio.

Taikindamas atlenkimui α - dalelių, prasiskverbiant joms per plonus metalo sluogsnius, žinomą astronominę formulą atlenkimo kometos, einant pro saulę, Rutherfordas konstatavo dar vieną labai įdomų dalyką, būtent, kad skaičius laisvų branduolio + įlydžių yra lygus atominiam elemento skaičiui, t. y. eiliniam elemento skaičiui periodinėje elementų sistemoje. Šilimos ir elektros laidumo fenomenai, šviesos absorbcija ir dispersija dar anksčiau davė tokią pat išvadą del planetinių elektronų skaičiaus. Prisilaikant Rutherfordo branduolio hipotezės, planetinių elektronų skaičius turi būti lygus branduolio laisvų teigiamų įlydžių skaičiui, nes atomas elektriškai yra neutralus. Pagaliau, šita hipotezė sako, kad atomo branduolis sudarytas iš teigiamų protonų, sucementuotų elektronais, nes kitaip del elektros jėgų negalima būtų sukoncentruoti protonų. Taigi, sudarant to ar kito atomo branduolį, imama tiek protonų (vandenilio atomo branduolių), iš kiek vienetų susideda atominė masė, ir pridedama prie branduolio tiek elektronų, kad pasiliktų branduolyje laisvų + įlydžių skaičius, lygus atominiam skaičiui. Apie tokį branduolį imama toksai skaičius planetinių elektronų, kaip elemento atominis skaičius.

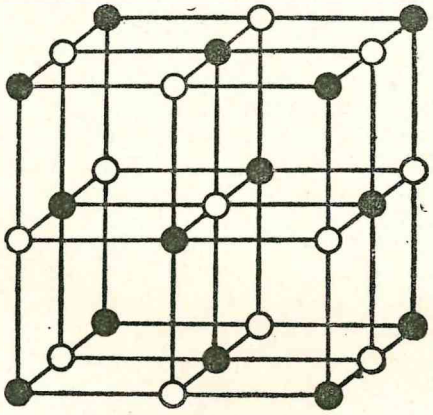
Einant šita hipoteze sunkesnių elementų atomuose del visiškai nežinomų šiandien priežasčių laikas nuo laiko įvyksta perversmai ir tada atomo branduolis sprogsta, išmesdamas α ir β - daleles ir sudarydamas iš likučių naują atomą. Manoma, kad minimų čia perversmų kaltininkai yra elektronai, kurie, arba įsiverždami į branduolį arba išlėkdami iš jo, naikina branduolio pusiausvyrą. Tokie spontaniški atomų sprogimai sudaro tai, ką mes vadiname elementų transmutacija, arba radioaktingumu. Sunkūs elementai turi ypač sudėtingų atomų ir todel tokiuose atomuose išėjimas iš pusiausvyros būklės įvyksta, sulyginti, lengviau. Lengvesni atomai charakterizuojasi daug pastovesne pusiausvyra del jų branduolių paprastesnės sudėties ir todel spontaniškas branduolių sprogimas arba radioaktingumas tokių lengvesnių elementų tarpe yra labai retas atsitikimas.

Atkreipsime dar dėmesį į nepaprastai didelę energiją atomo, apie kurią galima spręsti iš radioaktingumo apsireiškimų. Apskaityta remiantis tuo faktu, kad radio temperatūra yra visuomet 2^0 augštesnė kaip apylinkos temperatūra, kad transmutacija 1 gramo radio ligi radiošvino (žiūr. duotą lentelę) atpalaiduoja 4.10^9 mažųjų kalorijų. Tai yra toks šilimos kiekis, kuris galima gauti sudeginus 0,5 tonos gerų anglių. Tuo tarpu susidarymas vieno gramo vandens iš vandenilio ir deguonio atpalaiduoja tik 4.10^3 kalorijų, vadinasi, milijoną sykių mažiau kaip 1 gramo radio transmutacija. Jeigu atsiminsime, kad galutinis radio transmutacijos produktas, švinas, turi dar labai didelį kiekį energijos, tai reikės manyti, kad atomas turi tiesiog milžinišką energiją. Sulyginus su šita atomo energija, pažįstama mums ir naudojama mūsų chemiškų reakcijų energija yra menkniekis. Remiantis radioaktingumo apsireiškimais galima apskaityti ir visa energija tam tikro kiekio radio. Pasirodo, kad energija 28 gramų radio galima būtų pakelti augštyn svorį 5000 tonų per du kilometrus.

27 §. Kristalų struktūra. X - spindulių prigimtis. Laue'o eksperimentai. W. H. ir W. L. Braggų darbai. X - spindulių spektrai. Moseley'o tyrinėjimai ir jo dėsnis. Bohro teorija. Pusiausvyros orbitos. Vandenilio atomo orbitos.

Išdėstyta atomų struktūros hipotezė buvo ryškiai patvirtinta X - spindulių spektrų tyrinėjimais. Kalbant apie X - spindulius, 25 § buvo pastebėta, kad fizikams kurį laiką nepasisekė nei atmušti, nei užlaužti, nei užlenkti X - spindulių, ir todel kilo net abejonių, ar galima tie spinduliai priskirti šviesos spindulių kategorijai. Müncheno fizikas Laue, norėdamas įrodyti X - spindulių šviesos prigimtį, sumanė 1912 metais pasinaudoti jų užlenkimui (difrakcijai) kristalų plokštelėmis, remdamasis prancūzo Bravais ir ruso Fedorovo kristalų struktūros teorija (žiūr. „Fizikos paskaitos“, „Šviesos“ 13 § 208—210 pusl.).

Einant šita teorija kristalai sudaryti iš erdvinių tinklelių arba gardelių. Erdviniu tinkleliu vadinasi toksai kristalizacijos centrų ar taškų sustatymas, kad apylinka vieno tokio taško yra toki pat kaip ir apylinka bet kurio kito taško. Taigi, toksai erdvinis tinklelis atsikartoja per visą kristalą, kaip atsikartoja tam tikras lamstas arba tam tikra figūra popieriaus apmušaluose, kilimuose arba gobelenuose. Bravais ir Fedorovo nuomone kristalizacijos centrus arba taškus kristaluose užima ne molekulos kristalo medžiagos, bet atomai, iš kurių sudaryta kristalo molekula. Pavyzdžiui, šeštainiai (kubai) paprastos stalo druskos (Na Cl) sudaryti taip: natrio atomai sudaro vieną erdvinį tinklelį pavidalu elementarinio kubo, o chloro atomai kitą tokį erdvinį tinklelį. Interpenetracija tų dviejų tinklelių sudarytas erdvinis tinklelis natrio chloro pavidalu elementarinio kubo, kurio kampus iš eilės užima atomai natrio ir chloro. Vienu žodžiu, kiekvienos rūšies atomai sudaro savo tinklelį, ir interpenetracija tokių atominių tinklelių sudaromas kristalo erdvinis tinklelis. Įsivaizduokime elementarinį kvadratą, kurio šonas d yra lygus atominiam atokumui. Sudarydami iš tokių elementarinių kvadratų elementarinius kubus su atomais, ant šito kubo kampų mes gausime paprasčiausį erdvinį tinklelį didžiausios simetrijos kristalų, būtent, kristalų su trimis pagrindinėmis simetrijos ašimis. Paėmę vietoj kvadrato rombą ir sudarę iš tokių elementarinių rombų elementarinį paralelopipedą, mes turėsime erdvinį tinklelį triklininės kristalų sistemos. 350 piešinys rodo paralelopipedą, sudarytą erdviniais tinkleliais kubikų pavidalu. Šitas tinklelis liečia kristalus didžiausios simetrijos, ir čia mes turime tris pagrindinius erdvinius tinklelius: 1) kada atomai užima kampus elementarinio kubo; 2) kada aštuoni atomai užima kampus elementarinio kubo, o devintas randasi kubo centre ir 3) kada atomai užima elementarinio kubo kampus ir, be to, dar centrus elementarinio kubo šonų. Kada atomai maža skiriasi savo masėmis, tai jie sudaro erdvinius tinklelius pirmojo tipo. Pavyzdžiui, kristalai silvino (K Cl). Prie žymaus skirtumo tarp atominių masių kiekvienas atomas sudaro savo tinklelį ir tų tinklelių interpenetracija susidaro erdvinis tinklelis trečiojo tipo. Tokį erdvinį tinklelį sudaro, pavyzdžiui, rubidio chloridas arba kalio jodidas. Atomai Na Cl skiriasi vienas nuo antro atomine mase, bet ne taip smarkiai, kaip, sakysime, atomai kalio jodido arba rubidio chlorido. Todel Na Cl duoda erdvinį tinklelį kiek painesnį, kaip kalio chloridas arba rubidio chloridas. Kristalo Na Cl erdvinis tinklelis yra kombinacija pirmojo ir trečiojo tipų erdvinių tinklelių. 350 piešinys kaip tik atvaizduoja tokią kombinaciją. Šitoje kombinacijoje kristalizacijos centrai arba atomai pažymėti iš eilės juodais (Cl) ir baltais (Na) ratukais. Ignoruojant skirtumą tarp atomų, šita diagrama duos mums erdvinį tinklelį pirmojo tipo, nes visi taškai bus tada ant kampų elementarinių kubų. Ignoruodami baltus ratukus, mes gausime erdvinį tinklelį trečiojo tipo (atomai bus ant kubikų kampų ir jų šonų centruose). Išpjovę sluogsnį molekulinio storumo (storumo, kuris yra lygus atokumui tarp dviejų gretimų atomų), mes gausime tai, kas vadinama „kristalografišku tinklu“, o sekcija sluogsnio duos mums eilę taškų, kuri vadinasi kristalografiška eile. Dabar bus suprantama, kodel Laue sumanė pasinaudoti kristalo plokštele kaipo difrakcijos gardeliu X-spinduliams. Dalykas tas, kad tarp difrakcijos gardelio ir kristalo plokštelės reiškiasi didelis panašumas. Difrakcijos gardelis tai yra stiklo plokštelė, ant kurios įbrėžtos diementu linijos tam tikram atokume viena nuo antros (labai arti viena nuo antros). Kristalo plokštelėje mes irgi turime tokias linijas, būtent, atomų eiles arba kristalografiškas eiles atominiuose atokumuose viena nuo antros. Skirtumas tarp paprasto difrakcijos gardelio ir kristališko gardelio visų pirma yra tas, kad paprastas gardelis yra plokščias, o kristališkas gardelis yra erdvinis. Be to, atokumas tarp ato-

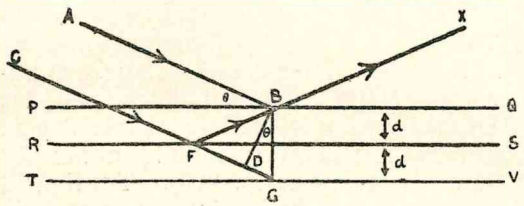


350 pieš,

mų eilių, vienu žodžiu, atominis atokumas yra daug mažesnis dydis kaip atokumas tarp dviejų gretimų linijų paprasto difrakcijos gardelio. Vadinasi, kristalo gardelio elementas (atokumas tarp dviejų atatinkančių gardelio taškų) yra daug mažesnis dydis kaip paprasto gardelio elementas. Laue tad manė, kad paprasto gardelio elementas yra per didelis, sulyginti su X-spindulių bangomis, ir todel neduoda tų spindulių difrakcijos, kaip nėra paprastos šviesos spindulių difrakcijos, kada tie spinduliai eina per platų plyšį, sulyginti su paprastos šviesos bangomis. Tikėdamas, kad X-spindulių bangos yra to paties didumo kaip ir atomai, Laue ir laukė gausiąs X-spindulių difrakciją, praleidęs juos per ploną kristalo plokštelę. Šitą eksperimentą atliko Laue bendradarbiai Friedrich ir Knipping. Plonas pluoštas Röntgeno spindulių buvo paleistas į cinko sulfido plokštelę 0,5 m/m. storumo. Užpakaly tos plokštelės, atokume 3 cm., buvo pastatyta fotografinė plokštelė, ant kurios ir buvo gautas X-spindulių difrakcijos efektas pavidalu simetriškos figūros iš taškų (žiūr. „Šviesa", puslap. 209). Tos figūros vidury buvo griežtas centrinis taškas. Tas taškas atatinka efektui spindulių, perėjusių per kristalo plokštelę be atsilenkimo. Aplink šitą centrinį tašką koncentriniais žiedais pasirodė visa eilė silpnesnių taškų. Šitie silpnesni taškai buvo orientuoti taisyklingai ir priklausomai nuo X-spindulių rūšies, jų užlenkimo kampo ir nuo kristalo rūšies. Taigi, čia pasirodė skirtumas tarp X-spindulių ir paprastos šviesos spindulių. Taip bent manė Laue. Dalykas tas, kad paprastas gardelis duoda tolydinį spektrą. Tuo tarpu Laue gavo netolydinį spektrą X-spindulių ir todel manė, kad X-spindulys esąs sudarytas iš apriboto skaičiaus homogeninių spindulių, o paprastos šviesos spindulys—iš begalinės daugybės homogeninių spindulių visokių bangos ilgių tam tikrose ribose. Vėliau buvo įrodyta, kad Laue nuomonė buvo klaidinga, visų pirma todel, kad Laue ignoravo jau mūsų pabrėžtą skirtumą tarp paprasto difrakcijos gardelio ir erdvinio gardelio, kokį sudaro kristalo plokštelė. Einant per tokį erdvinį gardelį X-spinduliams, užlenkimas bus tik einant spinduliams tam tikromis kryptimis, o einant kitomis kryptimis nebus užlenkimo ir todel faktas bus tas, kad visuomet susidarys netolydinis spektras.

Į šitą dalyką atkreipė dėmesio W. H. Braggas, anglas, kuris irgi ėmėsi nagrinėti kristalų struktūrą su pagalba X-spindulių, padedant jo sūnui W. L. Braggui. W. H. Braggas pažiūrėjo į veikimą kristalo plokštelės X-spindulių kitaip kaip Laue. Difrakcijos spektras susidaro per interferenciją šviesos bangų, o tokia interferencija galima gauti ne tik su pagalba difrakcijos gardelio, bet ir paėmus paketą iš plonų stiklo plokštelių ir leidžiant per tokį paketą šviesos spindulius. Tada tie spinduliai dalinai pereina per tokį pakietą, dalinai atsimuša nuo pirmos, antros, trečios ir t. t. plokštelių (apie šviesos interferenciją, pereinant ir atsimušant ant stiklo plokštelių, žiūr. „Šviesa", 12 §, 183—185 puslap.). Paaiškinsime Braggo teoriją kristalo plokštelės veiksmo remdamiesi 351 piešiniu. Čia mes turime eilę plokštumų PQ, RS, TV atokume d viena nuo antros. Tos plokštumos atatinka plokštumas kristalo 350 piešinio, imant tokias plokštumas lygiagrečiai vienai iš kristalo išorinių plokštumų, vadinasi, imant plokštumą viena kryptimi iš trijų pagrindinių kristalo krypčių. Tada mes ir gausime plokštumą su tam tikra orientacija atomų ant plokštumos, t. y. gausime tai, kas anksčiau pavadinta „kristalografišku tinklu". Tame tinkle mes turime linijines eiles atomų dviem kryptimis. Taigi linijos PQ, RS, TV ir reiškia tokias atomų plokštumas (tiksliau kalbant, atomų eiles) atominiuose atokumuose d viena nuo antros. Savaime suprantama, kad, imant tas plokštumas įvairiomis kryptimis atominiai atokumai d bus nevienodi, ir todel sekant X-spindulių interferenciją, per kristalų plokšteles spinduliai leidžiami lygiagrečiai trims pagrindinėms kryptims kristalo. Paleisime dabar lygiagrečius spindulius A ir C (čia turima galvoj homogeniniai spinduliai, t. y., sudaryti bangomis tam tikro ilgio arba tam tikro periodo) į plokšteles PQ, TV. Spindulys A suduos plokštį PQ taške B ir atsimuš tame taške išilgai BX. Spindulys C pereis per plokštelę PQ ir atsimuš nuo antros plokštelės RS taške F ir atsimušęs eis kaip ir pirmasai spindulys išilgai linijos BX. Aplamai, spinduliai dalinai atsimuš nuo tos ar kitos plokštelės, dalinai pereis per ją. Jie atsimuš ten, kur pateks į atomus, ir pereis per tarpus tarp atomų. Bet, kaipo išdava, mes turėsime tai, ką schematiškai atvaizduoja 351 piešinys, vadinasi, mes galime manyti, kad spindulys A atsimuš nuo plokšlelės PQ, spindulys C pereis per pirmą plokštelę

PQ ir atsimuš nuo antros plokštelės RS, trečias spindulys pereis per pirmą ir antrą plokšteles ir atsimuš nuo trečios plokštelės TV ir t. t. Visi atsimušę spinduliai eis išilgai linijos BX ir jie arba sustiprins vienas kitą, jeigu bus toje pačioje judėjimo fazėje arba panaikins vienas kitą (interferuos), jeigu bus priešingose judėjimo fazėse. Ištiesime liniją CF ligi susikirtimo su plokštuma TV taške G ir sujungsime linija taškus B ir G. Iš figūros aišku, kad į tašką G galima žiūrėti kaipo į vaizdą taško B plokštumoje RS. Ištiesime dar iš taško B liniją BD statmenai linijai CG (ir statmenai linijai AB). Iš figuros aišku, kad FB = FG ir kad $\angle ABP = \vartheta = \angle DBG$. Pažiūrėsime dabar, koks skirtumas optiškų kelių, atliktų spindulių A ir C ligi taško X ant ekrano arba ant fotografinės plokštelės. Optiškas kelias spindulio A bus AB + BX, o spindulio C bus CF + BF + BX. Taigi, abiejų spindulių kelių skirtumas bus CF + BF — AB. Bet linija BD yra bangų frontas (statmena plokštuma spinduliams). Vadinas, keliai, atlikti spindulių A ir C lygi BD yra, vienodi. Taigi AB = CD = CF + FD ir kelių skirtumas lygus



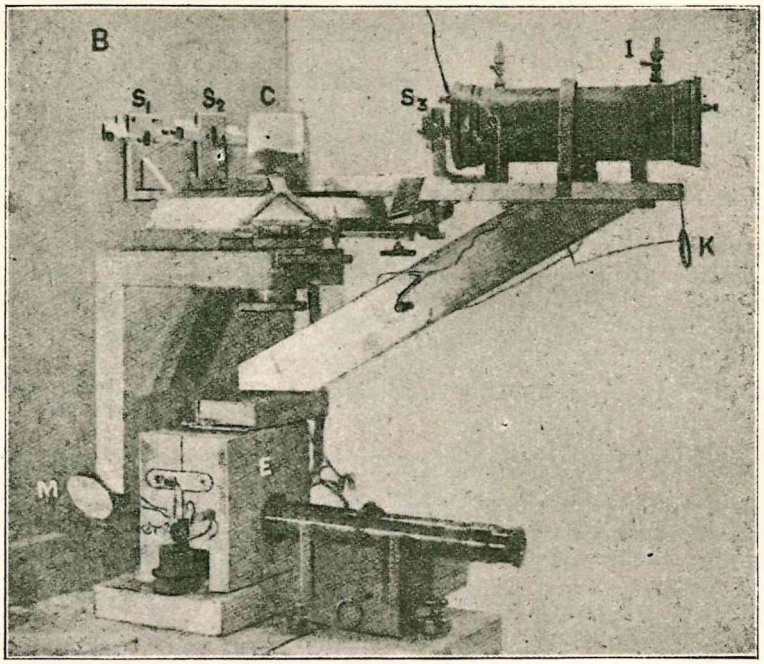
351 pieš.

$$CF + BF - CF - FD = BF - FD = FG - FD = DG = 2d \sin \vartheta.$$

Todel spinduliai, atmušti nuo pirmojo ir po jo einančių atominių sluogsnių kristalo plokštelės išilgai linijos BX, sustiprins vienas antrą, kada $2d \sin \vartheta$ bus lygus λ, 2λ, 3λ ir t. t. ir interferuos vienas su antru, kada fazių skirtumas bus $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}$ ir t. t. Taigi, paėmus homogeninį spindulį (tam tikro bangos ilgio) ir paleidus jį į kristalo plokštelę, sustiprintas efektas pasirodys tik tada, kada kampas, kuris čia vadinasi observacijos kampu, pasieks tam tikrą didumą, patenkinantį lygtį $\lambda = 2d \sin \vartheta$, kitas sustiprintas efektas bus tada, kada $2\lambda = 2d \sin \vartheta$, vėl kitas, kada $3\lambda = 2d \sin \vartheta$ ir t. t. Vadinasi, paleidę homogeninį spindulį į kristalo plokštelę, mes gausime linijinį spektrą pirmos eilės, antros eilės, trečios eilės ir t. t., nelyginant kaip ir nuo paprasto difrakcijos gardelio, ir išmatavę kampą ϑ, prie kurio susidaro maksimum efektas, mokėsime apskaityti santykį $\frac{d}{\lambda}$, t. y. santykį atominio atokumo (atokumo tarp gretimų artimiausių atominių sluogsnių) ir bangos ilgio. Leidžiant spindulius to paties bangos ilgio λ įvairiomis pagrindinėmis kristalo kryptimis, t. y. atmušant spindulius nuo įvairių plokštumų, lygiagrečiai kristalo išorinėms plokštumoms, bus nustatytas santykis $\frac{d}{\lambda}$ įvairiomis kryptimis ir jau iš čia galima bus nustatyti kristalo elementarinis tinklelis. Atbulai, leidžiant į kristalą ta pačia kryptimi (į tą pačią plokštumą) spindulius įvairių bangos ilgių λ_1, λ_2, λ_3 ir t. t. bus nustatytas santykis tarp tų spindulių bangų ilgių, kitaip sakant, bus surasti relatyvūs bangų ilgiai. Tas sudaro esmę W. H. ir W. L. Braggų metodo kristalų struktūrai tirti arba remiantis žinoma kristalų struktūra, žinomu kristalo erdviniu tinkleliu, matuoti X - spindulių bangų ilgiams, ir šituo principu remiasi svarbus W. H. Braggo aparatas, kuris vadinasi X - spindulių spektografas ir kurį atvaizduoja 352 piešinys.

Mes čia turime švino kamerą arba dėžę B su plyšiu S_1, kuris mikrometriniu sraigtu galima padaryti siauresnis arba platesnis. Kameroje B randasi Röntgeno vamzdis X - spinduliams gauti. Išėję pro plyšį S_1, X - spinduliai leidžiami dar pro plyšį S_2 ir, perėję per šitą plyšį, spinduliai krinta ant kristalo plokštelės C paviršiaus. Ta kristalo plokštelė C prilipdyta vašku prie staliuko, padėto vidury spektrografo disko, nelyginant kaip prizma arba difrakcijos gardelis padedami ant disko paprasto spektrometro. Atmušti nuo kristalo plokštelės C spinduliai patenka per trečią plyšį S_3 ir per aluminio langelį į ionizacijos kamerą J, kur tie spinduliai ionizuoja lengvai ioni-

zuojamas dujas, pavyzdžiui, SO_2. Ionizacijos kameroje randasi elektrodas, kuriam suteikiamas augštas potencialas su pagalba akumulatorių batarejos. Tasai elektrodas pastatytas ionizacijos kameroje taip X - spindulių tokiu būdu, kad tie spinduliai eitų pro šalį neliesdami jo ir veiktų tik dujas kameroje. Šitas elektrodas sujungtas su Willsono elektrometru E, kuris ir registruoja intensingumą X - spindulio, patekusio į ionizacijos kamerą. Elektroskopas E nušviečiamas atmušant į jį šviesą plokščiu veidrodžiu, o judėjimai elektroskopo lapelio sekami žiūronu. Vadinasi, ionizacijos kamera J vaidina čionai vaidmenį spektrometro žiūrono. Taigi ta kamera padėta taip, kad ji galima sukti apie skeptrografo vertikalinę ašį. Paleidus ant kristalo plokštelės X - spindulius, sukant pamaži šitą ionizacijos kamerą ir pasiekus kampą ϑ, prie kurio atmušti nuo kristalo plokštelės spinduliai sustiprina vienas kitą, į kamerą pateks stiprus X - spindulys, kuris ionizuos dujas ir palies elektroskopą. Kampas, kurį sudaro ionizacijos kameros ašis su kristalo plokštele, atskaitomas ant graduoto spektrografo disko. Iš šito kampo galima bus apskaityti, sakysim, X - spindulių bangos ilgis, o apie to spindulio intensingumą spręsti iš stiprumo ionizacijos srovės, kurią parodys elektroskopas. Sukant toliau ionizacijos kamerą ir pasiekus vėl atatinkamą kampą ϑ, vėl stiprus X - spindulys įeis į kamerą, ionizuos dujas, pasieks elektroskopą ir t. t. Šitiems bandymams imamas „minkštas" X-spindulių vamzdis ir per plyšį S_1 išleidžiamas X-spindulių pluoštas, kuris išeina iš antikatodo gangreit šliaužiamu kampu (vadinasi, patenka į antikatodą gangreit šliaužiamu kampu). Savaime suprantantama, kad užuot sukus ionizacijos kamerą galima sukti kristalo plokštelė ir ant graduoto disko atskaityti observacijos kampą ϑ. Pagaliau, aišku, kad ionizacijos kamera galima pakeisti fotografine kamera, taip kad X - spindulių spektras bus nufotografuotas.



352 pieš.

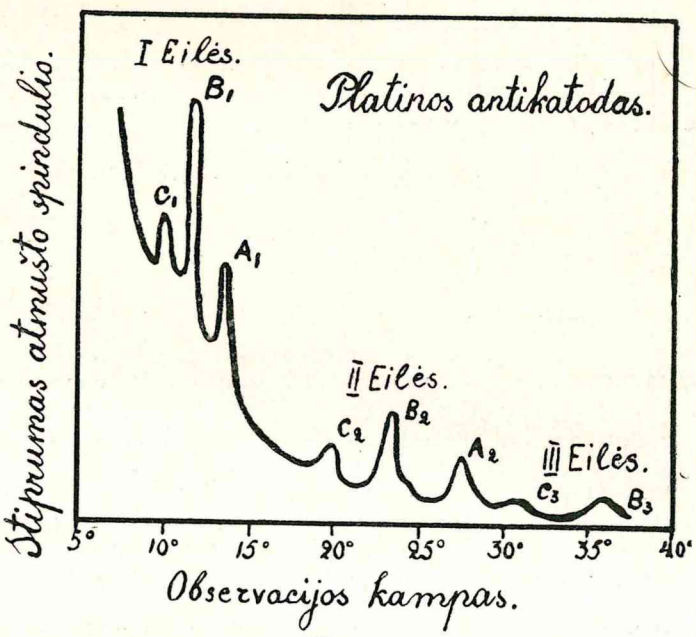
Parodysime dabar, kaip, remiantis X - spektrografo duomenimis, apskaitoma X - spindulių bangų ilgiai, atsimenant, kad mes čia visą laiką operuojame su homogeniniais X - spinduliais, t. y. tam tikro bangos ilgio λ. Kaip jau anksčiau pasakyta, atmušant spindulius nuo trijų pagrindinių kristalo plokštumų statmenai viena antrai, nustatoma santykiai: $\frac{d_1}{\lambda}$, $\frac{d_2}{\lambda}$, $\frac{d_3}{\lambda}$. Imdami šitų santykių sandaugą mes gausime: $\frac{d_1 \times d_2 \times d_3}{\lambda^3} = \frac{v}{\lambda^3}$, vadinasi, gausime kristalo erdvinio tinklelio tūrį, padalytą į bangos ilgį trečiajam laipsnyje. Pažymėsime kristalo tankumą raide ρ ir jo molekulinį svorį

raide M. Tad skaičius molekulų kristalo erdviniam tinklelyje bus $\frac{v\rho}{M}$, arba $\lambda^3\left(\frac{v}{\lambda^3}\cdot\frac{\rho}{M}\right)$. Taigi, dydis skliaustuose galima apskaityti remiantis spektrografo duomenimis. Pasirodo, kad dydis $\frac{v\rho}{M}$ visai eilei kristalų, kaip NaCl, $CaFl_2$, $CaCO_3$, FeS mažai skiriasi nuo vieneto (truputį didesnis už vienetą). Vadinasi, su kiekvienu difrakcijos centru yra asocijuota tik viena molekula nurodytiems kristalams. Antra vertus, kai kuriems kristalams, pavyzdžiui, KCl $\left(\frac{v\rho}{M}\right)=0{,}605$, t. y. gangreit pusė. Vadinasi, šitam kristalui su kiekvienu charakteringu erdvinio tinklelio tašku yra asocijuotas vienas sunkus atomas. Molekula kristalo KCl susideda iš dviejų gangreit vienodai sunkių atomų. Tuo tarpu molekulos viršum pažymėtų kristalų susideda iš vienos sunkesnės ir antros lengvesnės dalių. Taigi, šitiems kristalams, pavyzdžiui, kristalui NaCl, veikia lygtis: $\lambda^3\left(\frac{v}{\lambda^3}\cdot\frac{\rho}{M}\right)=1$. Molekulinis svoris paprastos stalo druskos $M=58{,}5$ gramų. Avogadro konstanta yra lygi $6{,}06.10^{23}$. Vadinasi, grammolekula medžiagos turi $6{,}06.10^{23}$ molekulų (tiek pat atomų turi vienas gramatomas medžiagos). Taigi, svoris vienos molekulos NaCl yra lygus $\frac{58{,}5}{6{,}06.10^{23}}=58{,}5.1{,}64.10^{-24}$. Paprastai druskai W. H. Braggas nustatė savo spektrografu $\frac{v}{\lambda^3}=33{,}3$, o tankumas paprastos druskos $\rho=2{,}15$ gramų. Taigi lygtis $\lambda^3\left(\frac{v}{\lambda^3}\cdot\frac{\rho}{M}\right)=1$ virsta tokia lygtimi: $\lambda^3\ (33{,}3\times 2{,}15)=58{,}5\times 1{,}64\times 10^{-24}$, iš kur eina $\lambda^3=1{,}34\times 10^{-24}$ ir $\lambda=1{,}10\times 10^{-8}$ cm. Tai yra bangos ilgis X - spindulių, kurių duoda platinos antikatodas. Tasai dydis Braggo nustatytas. Anksčiau Laue gavo dydį apie 10^{-9}. Kaip jau pasakyta, žinant bangos ilgį galima pasinaudoti spektrografo duomenimis nustatyti santykiui $\frac{d}{\lambda}$ trimis pagrindinėmis kristalo kryptimis ir remiantis šitais santykiais nustatyti kristalo erdvinis tinklelis.

Laue manė, kad X - spinduliai neduoda tolydinio spektro. Bet Braggas ir kiti savo tyrinėjimais įrodė, kad atmušant minkšto Röntgeno vamzdžio pagamintus spindulius nuo kristalo plokštelės gaunama tolydinis spektras, perkirstas eile smarkesnių (intensingesnių) linijų, kaip rodo 353 piešinys. Tai yra grafiškai atvaizduotas spektras X - spindulių nuo platinos antikatodo, atmušant tuos spindulius paprastos druskos kristalo plokštele. Ant abscisos čia atidėti observacijos kampai (kampai ϑ, prie kurių ionizacijos kameroje buvo maksimum efektas), o ordinatomis intensingumas atmuštų spindulių. Mes čia turime tolydinę kreivą liniją su eile viršūnių. Tos viršūnės A, B, C atatinka spektro atskiras linijas. Mes čia turime pirmos, antros ir trečios eilės spektrus. Iš tikrųjų, paimsime viršūnes B_1, B_2, B_3. Tos viršūnės atatinka kampus $11{,}^0 55$, $23{,}^0 65$ ir $36{,}^0 65$. Tų kampų sinusai iš eilės yra 0,200, 0,401 ir 0,597. Vadinasi, tie sinusai santykiuoja kaip 1 : 2 : 3. Tas pats reikia pasakyti apie serijas C ir A. Taigi išeina, kad X - spinduliai, kurių duoda Röntgeno vamzdis, susideda iš bangų įvairių ilgių, ir, nelyginant, kaip balta šviesa duoda tolydinį spektrą. Bet atmušant X - spindulius nuo įvairių medžiagų gaunama kartu su tolydiniu spektru spinduliai aiškiai apibrėžto bangų ilgio, kurie atatinka charakteringas įvairių elementų spektrų linijas tam tikro bangų ilgio, ir todel tokie spinduliai vadinami homogeniniais spinduliais.

Dar 1908 metais Škotijos fizikas Barkla įrodė, kad einant X - spinduliams per tą ar kitą medžiagą tie spinduliai dalinai išsklaidomi, nelyginant kaip šviesos spinduliai išsklaidomi rūko arba debesio dalelėmis, dalinai absorbuojami, ir kaipo tos absorbcijos išdava medžiaga duoda korpuskulus arba ima leisti antrinius X - spindulius, nelyginant

kaip absorbuoti ultra - violetiniai spinduliai sužadina fosforescenciją ir fluorescenciją. Šitie antriniai X - spinduliai pareina tik nuo medžiagos ir yra tai medžiagai charakteringi. Kad medžiaga jų duotų, reikia išpildyti tik vieną sąlygą, būtent: reikia paveikti medžiagą kietesniais X - spinduliais kaip medžiagai charakteringi X - spinduliai. Toliau, Barkla ir jo bendradarbis Sadler'is įrodė, kad šitie charakteringi ir homogeniniai spinduliai taip pat duoda linijų serijas kaip ir matomos šviesos elementų spektrai. Barkla konstatavo elementams dvi tokias X - spektrų serijas K ir L. Serija K bent 300 sykių kietesnė kaip serija L (atsiminkime, kad kietesni spinduliai yra didesnio dažnumo spinduliai kaip minkštesni spinduliai). Vėliau buvo konstatuota dar serijos M, N ir J. Iš visų tų serijų kiečiausioji yra J serija ir minkščiausioji N serija. Šitoms serijoms galima taikyti empirinės Rydbergo ir kitų lygtys, nustatytos matomos šviesos serijų spektrams. Tik tokie homogeniniai ir charakteringi X - spinduliai yra vartojami nagrinėjant kristalų struktūrą su pagalba X - spindulių spektrografo arba matuojant X - spindulių bangų ilgius su pagalba kristalo plokštelės, kurios erdvinis tinklelis žinomas. Braggo metodu nustatyta, kad charakteringų, arba kietų X - spindulių, bangų ilgiai svyruoja tarp 3.10^{-8} ir 10^{-9} cm. γ - spinduliai, kuriuos leidžia radio preparatai, irgi yra charakteringi X - spinduliai. γ - spinduliai yra kiečiausieji X - spinduliai trumpiausių bangų, apie 10^{-9} cm. Minkštieji X -spinduliai turi ilgesnes bangas. Taigi, pradėdami bangomis 4.10^{-5} cm. mes turime spektre ultravioletinę sritį, kuri nuosekliai pereina į sritį X-spindulių. Šita sritis prasideda spinduliais bangos ilgio $0{,}01\mu = 10^{-6}$ cm. Vandenilio ultra-violetinis spektras galima priskirti šitai sričiai.



353 pieš.

Spektroskopiškais tyrinėjimais senai buvo nustatyta, kad cheminiai elementai tos pačios grupės periodinės sistemos charakterizuojasi panašiais spektrais, kurie taisyklingai kinta pereidami nuo grupės į grupę. Iš vienos pusės elementų spektrų sudėtingumas, o iš antros pusės spektrų struktūros priklausomybė nuo elemento užimtos vietos periodinėje sistemoje visuomet buvo pagrindu spėjimams, kad esama artimų santykių tarp spektrų ir atomų struktūros. Bet ilgą laiką nepasisekė surasti paprastų santykių tarp atomo ir spektro. Buvo tik nustatytos empirinės formulos, remiantis taisyklingumu, kuris reiškiasi serijų spektruose tarp atskirų linijų tos pačios serijos, lygiai kaip tarp linijų atskirų serijų, formulos, kurios įgalina apskaityti bangos ilgį arba dažnumą bet kurios linijos, einant tam tikra konstanta ir dviem kintamais dydžiais, vadinamais „termais" (žiūr. apie tai „Šviesos" 15 §, 267 — 269 pusl.). Viena iš tinkamiausių formulų šituo atžvilgiu yra Rydbergo formula, kuri atrodo taip:

$$\nu = R\left[\frac{1}{(m, + \mu,)^2} - \frac{1}{(m + \mu)^2}\right].$$

Čia R reiškia Rydbergo konstantą, m ir m_1 pakeičiami iš eilės sveikais skaičiais, o μ_1 ir μ yra dvi konstantos, charakteringos kiekvienai serijai. Abudu dydžiai skliaus-

tuose vadinasi „termais“. Iš visų elementų vandenilis duoda paprasčiausį spektrą, kuris susideda iš trijų serijų: vienos infra-raudonoje dalyje, vienos matomoje dalyje ir vienos ultravioletinėje dalyje. Rydbergo formula vandeniliui yra prastesnė, būtent:

$$\nu = R\left(\frac{1}{m_1^2} - \frac{1}{m^2}\right).$$

Šitoje formuloje, kaip ir pirmojoje, $m_1 < m$. Paėmę vietoj m_1 vienetą ir pakeitę m iš eilės sveikais skaičiais 2, 3, 4..., mes gausime visas linijas vandenilio ultra-violetinės serijos arba Lymano serijos. Pakeitę m_1 skaičiumi 2, o m iš eilės skaičiais 3, 4, 5, gausime visas linijas Balmerio serijos arba matomos dalies vandenilio spektro. Pagaliau, paėmę $m_1 = 3$ ir pakeitę m iš eilės skaičiais 4, 5, 6, gausime linijas infra-raudonos vandenilio spektro dalies (Pascheno linijos). Grįžtant prie Lymano serijos pirmas „termas“ tai serijai yra lygus vienetui, o antras „termas“ artinasi prie nulio, pakeičiant m vis didesniais ir didesniais skaičiais. Vadinasi, konstanta R yra ne kas kita, kaip dažnumas kraštutinės linijos Lymano serijos, kada $m = \infty$, kitaip sakant, tai yra didžiausio dažnumo linija. Todel šita konstanta ir atsikartoja formulose visų spektrų. Dažnumas ν lygus $\frac{c}{\lambda}$ (c šviesos greitumas). Kadangi c labai didelis skaičius, o λ labai mažas, tai paprastai spektrometrijoje laikoma dažnumu linijos skaičių bangų λ, kuris pareina viename centimetre, t. y. sumažinama visi dažnumai $c = 3.10^{10}$ sykių. Tokiomis sąlygomis Rydbergo konstanta $R = 109678{,}3$. Šita konstanta nustatyta Rydbergo ir kitų remiantis spektrometriniais matavimais.

Kadangi Laue, Barkla, Braggo ir kitų tyrinėjimai įrodė, kad X-spindulių bangos yra atominio didumo, tai jaunas ir genialus Mančestero fizikas Henry Gwynn Moseley manė, kad galima laukti paprasčiausių santykių tarp įvairių atomų ir jų charakteringų X-spektrų ir todel 1913 metais pradėjo visą eilę matavimų, charakteringų įvairiems metalams X-spektrų. Šitų Moseley'o darbų vaisiai paskelbti žurnale „Philosophical Magazine“, dviejuose veikaluose 1913 ir 1914 metais, kurie pavadinti taip: „High Frequency Spectra of the Elements“ (Augšto dažnumo elementų spektrai). Tai yra didelis išradimas spektrų srityje, kuris duoda stiprų empirinį pagrindą mūsų išdėstytai atomo elektrinei struktūrai, ir todel mes duosime čionai trumpą Moseley'o darbų aprašymą.

Moseley savo tyrinėjimams vartojo Braggo metodą, padaręs reikalingus pakeitimus X-spektrografe. Moseley koncentravo elektronų srovę nuo katodo X-vamzdžio ant nedidelio ploto antikatodo iš to metalo, kurio charakteringas X—spektras norima buvo gauti. Taigi metalas antikatodo vaidino čia radiatoriaus vaidmenį, ir leidžiami jo charakteringi X-spinduliai ėjo pro siaurą plyšį platinos plokštelėje ir buvo išleidžiami iš X-vamzdžio per aluminio langelį. Išėjus spinduliams iš X-vamzdžio, jiems pakeliui tam tikru kampu buvo pastatyta skilimo plokštuma kaliferrocianido, kuri vaidino difrakcijos gardelio rolę. Atmušti nuo kristalo plokštumos charakteringi X-spinduliai veikė fotografinę plokštelę. Tokiu būdu Moseley gavo visą eilę fotografijų X-spindulių spektrų. Kadangi kai kurie spinduliai buvo labai mažo stiprumo ir jie jau buvo žymiai absorbuojami oro sluogsnio 1—2 cm. storumo, tai visas Moseley'o aparatas galima buvo patalpinti tam tikroje kameroje, iš kurios galima buvo evakuoti oras. Tokiu būdu Moseley pasisekė nufotografuoti spektrus silpniausių X-spindulių. 354 piešinys atvaizduoja vieną iš Moseley'o fotografijų. Šita fotografija liečia K-seriją metalų kalcio, titano, vanadio, chromo, mangano ir t. t. Šita K-serija charakterizuojasi dviem linijom α ir β, iš kurių α žymiai stipresnė kaip β (tamsesnė ant fotografijos). Pakanka tik pažvelgti į tokią fotografiją, kad pamatytume neabejotiną taisyklingumą. Metalai čia parodyti iš eilės, kaip jie yra sudėstyti periodinėje sistemoje. Taigi pereinant iš eilės nuo vieno metalo į kitą metalą α ir β linijos pasistumia kaip tik per 1 laipsnį (eilinis skaičius metalo periodinėje sistemoje didėja per vieną ir vienu laipsniu pasistumia iš dešinės į kairę pusę α-linija, taip pat ir β linija). Fotografija, be to, rodo, kad dažnumas α ir β-linijų didėja einant nuo lengvesnio į sunkesnį metalą. Panašius santykius Moseley konstatavo ir minkštesnei L-serijai, kuri susideda iš 5 linijų

α, β, γ, δ, ε. Pagaliau, duota čia fotografija rodo, kad X-spektras įgalina konstatuoti ir mažiausias priemaišas metalui. Taip kobalto spektras rodo ne tik charakteringas jam α ir β-linijas, bet dar rodo silpnesnę mažesnio dažnumo geležies liniją ir nikelio liniją. Vadinasi, Moseley'o pavartotas kobalto pavyzdys turėjo pėdsakus nikelio ir geležies. Misingio spektras aiškiai rodo charakteringas vario linijas ir cinko linijas.

Remiantis fotografijomis galima apskaityti charakteringų metalų X-linijų dažnumai. Duosime čionai dažnumų apskaitymą, kurį atliko Moseley, kad ryškiai parodytume paprastus santykius tarp dažnumų ir eilinių elementų skaičių. Pažymėsime dažnumą α-linijos bandomojo elemento X-spektro raide v. Moseley'as apskaito kiekvienam metalui skaičių $Q = \sqrt{\frac{\nu}{\left(1 - \frac{1}{4}\right) R}} = \sqrt{\frac{\nu}{\frac{3}{4} R}}$.

Dydis $\left(1 - \frac{1}{4}\right) R = \frac{3}{4}$. 109678,3 = 88258,7 yra kraštutinė didžiausio dažnumo linija vandenilio ultra-violetinės serijos (Lymano serijos). Nuo šitos linijos galime skaityti perėjimą į sritį X-spektrų. Štai lentelė aiškiai rodo, koks čia taisyklingumas. Q reiškia kvadratinę šaknį iš relatyvaus dažnumo linijos.

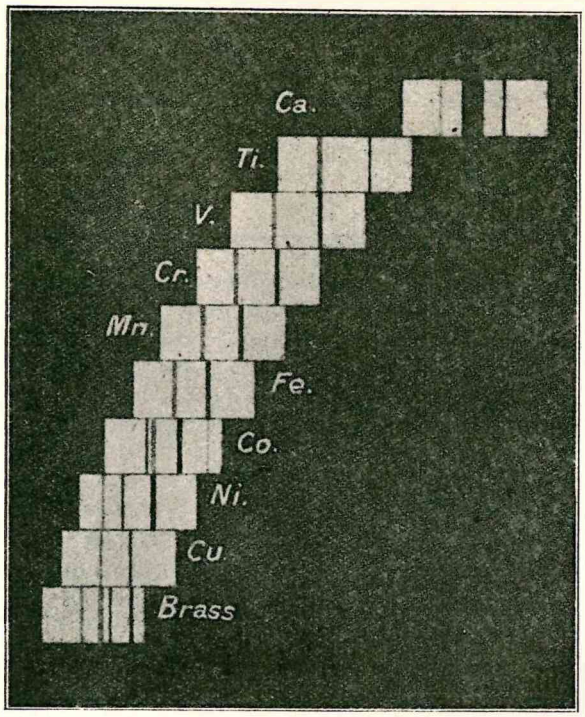
	Q	Atominis svoris	Atominis skaičius
Titanas	20,99	48,1	22
Vanadis	21,96	51,06	23
Chromas	22,98	52,0	24
Manganas	23,99	54,93	25
Geležis	24,99	55,84	26

Taigi nėra jokio aiškaus ryšio tarp skaičiaus Q ir atominio svorio pažymėtų lentelėje elementų. Bet skaičius Q einant iš eilės nuo elemento į elementą didėja per vienetą, taip pat kaip atominis jų skaičius arba jų eilinis skaičius periodinėje sistemoje. Šita eilė elementų visai atatinka ir jų chemines savybes. Periodinėje elementų sistemoje pirmą vietą užima vandenilis, o titanas užima 22 vietą, vanadis 23, chromas 24 vietą ir t. t. Pažymėsime eilinį elementų skaičių arba atominį skaičių raide N. Tad iš mūsų lentelės bus tokia lygtis N=Q+1. O iš augščiau duotos lygties skaičiui Q eina $\nu = \frac{3}{4} R. Q^2$. Jeigu mes apskaitytumėm šitą skaičių Q α — linijai L serijos, tai gautumėm: $Q = \sqrt{\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9}\right) R}$, arba $\nu = \frac{3}{36} RQ^2$. Taigi, aplamai, mes galime parašyti, kad $\nu = AQ^2$, kur A yra tam tikra konstanta Kadangi Q auga taip pat kaip auga atominis skaičius, tad mes galime parašyti, kad $Q = N - b$, kur b reiškia irgi tam tikrą konstantą. Tad X-linijos dažnumui mes gausime tokią bendrą formulą: $\nu = A (N - b)^2$. Iš duotos lentelės matyti, kad K-serijai $b = 1$. Vadinasi, K-serijai veikia tokia formula: $\nu = A (N - 1)^2 = An^2$, kur n reiškia sveiką skaičių pradedant nuo 1. Taigi, pasirodo, kad dažnumai K-serijos linijų yra proporcingi kvadratams paprastų sveikų skaičių, pradedant nuo vieneto. Tai yra nuostabiai paprastas santykis tokiam komplikuotam dalykui, kaip X-spektrai elementų.

355 piešinys duoda diagramą, kurioje ant abscisos atidėti elementų atominiai skaičiai, o ordinatomis kvadratinės šaknys iš dažnumo α-li-nijai, o piešinys 356 duoda tokią pat diagramą tik su tuom skirtumu, kad ant abscisos atidedama atominiai svoriai. Pirmuoju atveju mes turime tiesią liniją, o antruoju atveju laužtą liniją. Taigi

aišku, kad charakteringų K - linijų dažnumai yra tiesialinė funkcija ne atominio svorio, o atominio skaičiaus.

Moseley patvirtino spektrometriniais matavimais šitą išvadą ne tik metalams, kurie pažymėti ant fotografijos 354 piešinio, bet ir visai eilei kitų elementų. Jis patvirtino ir faktą, anksčiau Barkla konstatuotą, kad juo sunkesni elementai, juo didesnio dažnumo tų elementų K - linijos (ir L — linijos). Taigi, charakteringais spinduliais lengvesnių elementų negalima sužadinti charakteringų spindulių sunkesnių elementų, nes norint sužadinti charakteringus spindulius reikia paveikti kietesniais spinduliais, kaip žadinamieji charakteringi spinduliai. Taigi, norint sužadinti charakteringus spindulius reikia veikti lengvesnius elementus X - spinduliais nuo sunkesnių elementų.



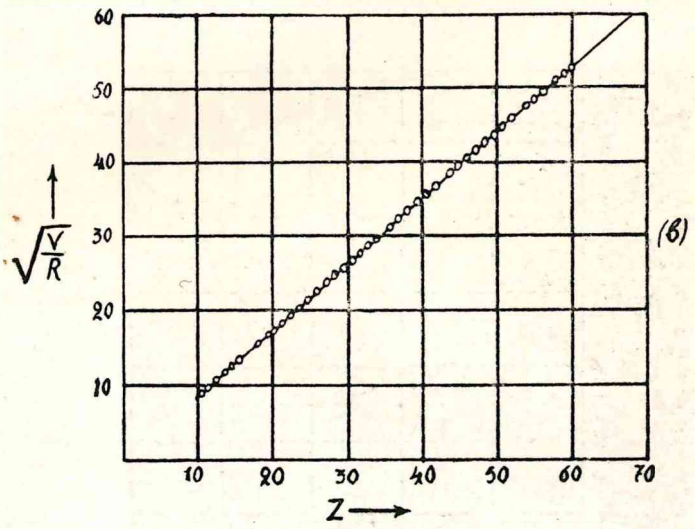
354 pieš.

Aprašytu metodu ir X - spektrografu negalima nustatyti X - spektrų skystiems ir dujiškiems elementams, nes šitoje būklėje negalima turėti antikatodų. Bet charakteringų X - spindulių ypatumas yra tas, kad tas pats elementas duoda tų pačių charakteringų spindulių nepriklausomai nuo to, su kokiais kitais elementais jis sujungtas. Tai jau aišku ir iš Moseley'o X - spektrų fotografijos (354 pieš.), kurioje misingio spektras reiškia charakteringas linijas abiejų sudėtinių misingio dalių, būtent cinko ir vario. Vadinasi, charakteringi X - spinduliai pareina tik nuo atomo struktūros ir nepareina nuo to, kurioje kombinacijoje tas atomas randasi. Todel norint gauti X - spektrai skystų ir dujiškų elementų kaip, pavyzdžiui, gyvsidabris, bromas, chloras, reikia imti kietieji tų elementų junginiai (druskos) antikatodais Röngteno vamzdyje.

Iš savo tyrinėjimų Moseley daro išvadą, kad dažnumai K-linijų įvairių elementų yra proporcingi kvadratams tų elementų atominių skaičių (jų eilinis skaičius periodinėje sistemoje), arba kad kvadratinės šaknys iš dažnumų yra proporcingos atominiams skaičiams, kaip tai aišku iš 355 piešinio diagramos. Šita išvada pasitvirtino vėlesniais spektrometriniais tyrinėjimais kitų elementų, kurie nebuvo Moseley'o paliesti. Todel šita Moseley'o išvada, kaipo turinti tvirtą empirinį pagrindą, vadinasi Moseley'o dėsnis. Išimtį, tarytum, sudaro vandenilis, nes taikant vandeniliui Moseley'o formulą $\nu = A\ (N-1)^2$ reikia paimti $N = 1$, ir tada vandenilio K-linijų dažnumui išeina skaičius nulis. Toki išvada neturi jokios fiziškos prasmės. Bet galima šita išvada interpretuoti ir taip, kad vandenilio K-spektras sutampa su jo ultra - violetiniu spektru (Lymano serija). Pažymėsime vandenilio kraštutines ultra - violetinės serijos linijos dažnumą raide ν_1 ir bangos ilgį raide λ_1 ir, pavyzdžiui, wolframo K-serijos α-linijos dažnumą raide ν_2 ir bangos ilgį λ_2. Moseley'o dėsnis tiems elementams atominių skaičių N_1 ir N_2 atrodo taip: $\sqrt{\frac{\nu_1}{\nu_2}} = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_1}}$. Vandenilio atominis skaičius yra 1, o wolframo atominis skaičius 74 ir bangos ilgis wolframo K-linijos $\lambda_2 = 0{,}185.10^{-8}$ cm. Taigi Moseley'o dėsnis

taikant jį vandeniliui ir wolframui duoda tokį santykį $\sqrt{\frac{0{,}185.10^{-8}}{\lambda_1}} = \frac{1}{74}$, iš to bus: $\lambda_1 = 101{,}3\mu\mu$ (milimikronų). Kraštutinei vandenilio ultra-violetinės serijos linijai Lymanas nustatė $\lambda_1 = 91{,}2\mu\mu$. Nors šitas skaičius ir nesutampa su skaičiumi, apskaitytu remiantis Moseley'o dėsniu, bet skirtumas tarp tų dviejų skaičių toks nedidelis, jog galima vandenilio Lymano nustatyta serija laikyti vandenilio K-serija. Tokiu būdu lengviausio elemento ultravioletinis spektras sudaro pradžią elementų K-spektrų.

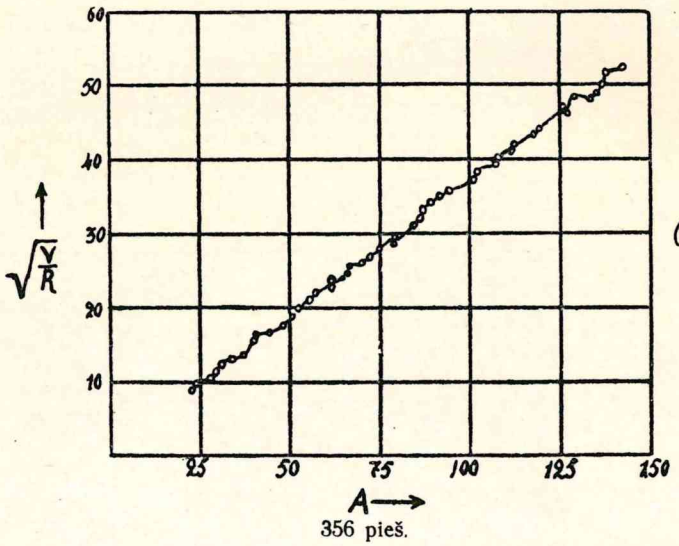
Del suradimo vietos periodinėje sistemoje kai kuriems elementams ilgą laiką buvo ginčų chemikų tarpe ir tekdavo vaduotis įvairiais fiziškais ir chemiškais motyvais priskiriant vienam kitam elementui tą ar kitą vietą. Moseley'o dėsnis į šitą klausimą duoda visiškai aiškų atsakymą. Nustačius elemento X-spektrą arba tiksliau kalbant K-spektrą atominis elemento skaičius, vadinasi, jo vieta periodinėje sistemoje yra aiškiai apibrėžta. Pirmą vietą periodinėje sistemoje užima vandenilis. Remiantis K-spektru urano, jo atominis skaičius yra 92. Uranas sunkiausias žinomas mums elementas, ir jis reikia laikyti paskutiniu elementu periodinės sistemos, užimančiu 92 vietą. Taigi tarp vandenilio ir urano turi būti 90 elementų. Moseley'o laikais ir vėliau buvo nustatyti eiliniai atominiai skaičiai 84 elementams. Tokiu būdu pasiliko neužimtos periodinėje sistemoje tik 6 vietos, būtent: 41, 43, 61, 72, 75 ir 87. Tai buvo nesurasti elementai. Iš šitų elementų 1923 metais buvo surastas 72 Nr. ir pavadintas hafniu, o 1925 metais buvo surasti 43 ir 75 Nr. Nr. (mangano analogai). Tie išradimai buvo padaryti remiantis X-spektrais. Vadinasi, šiandien pasilieka neužimtos periodinėje sistemoje tik trys vietos.



355 pieš.

Tai vis faktiškos išvados iš Moseley'o tyrinėjimų. Bet nepaprastas taisyklingumas, kuris reiškiasi X-spektrų srityje, Moseley'o nuomone, „yra to įrodymas, kad kiekvienas atomas charakterizuojasi tam tikra pagrindine kiekybe, kuri didėja visuomet tuo pačiu laipsniu pereinant nuo vieno elemento į artimesnį elementą. Šita kiekybė gali būti tiktai laisvas teigiamas įlydis atomo branduolio". Taigi išvada, kurią daro iš savo eksperimentų Moseley, yra rimta parama augščiau paminėtai išvadai Rutherfordo, kurią jis padarė atlikdamas išsklaidymą α-dalelių plonomis metalų plokštelėmis ir kurios dalykas yra tas, kad atominis skaičius apibrėžia skaičių laisvų + įlydžių atomo branduolio. Taip pat Moseley'o išvada sutinka ir su išvada, padaryta įvairių fizikų žymiai anksčiau remiantis elektros laidumo ir šviesos dispersijos fenomenais apie tai, kad elektronų skaičius yra lygus atominiam skaičiui. Vienu žodžiu, Moseley'o dėsnis sudaro tvirtą empirinį pagrindą trumpai augščiau išdėstytai elektrinei atomo hipotezei. Einant šita teorija ir prisilaikant Moseley'o dėsnio atomas vandenilio, kaipo pirmojo elemento, sudarytas tik iš vieno teigiamo branduolio, vadinamo protonu, ir vieno elektrono. Protono masė yra vandenilio atomo masė, ir visa ta masė yra elektromagnetinė. Taigi vandenilio atomas yra panašus į astronominę sistemą žemė—mėnulis. Kitų elementų atomų branduoliai sudaryti iš protonų ir iš helio branduolių, nes patys sunkieji radioaktingi elementai išmeta α-daleles, t. y. helio branduolius, o Rutherfordo įrodyta, kad tokie

elementai, pavyzdžiui, azotas arba chloras, kurių atominė masė nėra kartotina helio atominės masės, skaldant juos α-dalelėmis duoda vandenilį. Sudarant atomo branduolį iš protonų reikia tie protonai sucementuoti elektronais. Pavyzdžiui, sudarant helio atomo branduolį reikalingi 4 protonai. Bet tarp protonų veikia atsparos jėgos. Vadinasi, reikia sukombinuoti 4 protonai tokio skaičiaus elektronų, kad laisvas teigiamas branduolio įlydis būtų lygus elemento atominiam skaičiui. Helio atominis skaičius 2, vadinasi, helio branduolis reikia sudaryti iš 4 protonų ir 2-jų elektronų. Sitie elektronai yra branduolio elektronai. Kad būtų neutralizuoti 2 laisvieji branduolio teigiamieji įlydžiai, reikia dar priskirti helio branduoliui 2 planetinius elektronus. Aplamai, reikia paimti tokis planetinių elektronų skaičius, kuris yra lygus elemento atominiam skaičiui. Bendra konstruavimo atomo taisyklė einant šita teorija toki: branduoliui sudaryti reikia paimti tiek protonų, kad išeitų atomo masė elemento, reikia sujungti šitų protonų skaičius su tokiu skaičiumi branduolio elektronų, kad pasiliktų laisvas branduolio teigiamas įlydis, lygus elemento atominiam skaičiui, ir, pagaliau, priskirti šitam branduoliui tokis pat skaičius planetinių elektronų. Pavyzdžiui, urano atominė masė yra lygi 238,5. Taigi, imama 238 protonai. Atominis urano skaičius 92. Todel 238 protonai cementuojami 146 elektronais, ir taip sudarytas branduolis apsupamas 92 planetiniais elektronais. Vadinasi, urano mikrokosmas sudaro tokią komplikuotą sistemą, jog kitos panašios astronomija ne tik nežino, bet ir įsivaizduoti negali. Kad urano atominis svoris išreiškiamas sveikais skaičiais su trupmena, tai neturi reikšmės, nes uranas duoda izotopų, t. y, charakterizuojasi įvairiais atominiais svoriais, kurie išreiškiami sveikais skaičiais. Taigi, duota taisyklė taikoma izotopams.



356 pieš.

Bet sudarant helio branduolį iš protonų tenka anuliuoti dalis protonų masės. Dalykas tas, kad vandenilio atominė masė yra lygi 1.008. Tuo tarpu helio atominė masė yra lygi 4. Vadinasi, sudarant helio atomą iš 4 protonų anuliuojama 0,032 gramai masės, skaitant 1 gramatomui helio. Kadangi masės panaikinti negalima, tai kyla klausimas, kas tai masei darosi? Į šitą klausimą duoda aiškų atsakymą relatyvumo teorija, kuri nustato ekvivalentingumo santykius tarp masės ir energijos ir nustato pažiūrą į masę kaipo į imanentinę energiją. Einant relatyvumo teorija tarp masės ir energijos veikia toks santykis: $m = \frac{E}{c^2}$. Čia m reiškia masę, E reiškia energiją ir c šviesos greitumą. Šita lygtis sako, kad jeigu materialinė sistema absorbuoja energiją, tai jos masė didėja, ir atbulai, kada sistema atiduoda energiją, tai jos masė mažėja. Patvirtinti tokią išvadą eksperimentu yra sunkus ir beveik negalimas dalykas, nes mes operuojame sulyginti mažais energijos kiekiais. Bet šita relatyvumo teorijos išvada visai atatinka kai kuriuos faktus, pavyzdžiui tą aiškiai nustatytą faktą, kad radiacija reiškia spaudimą ir, vadinasi, turi tam tikrą inercijos momentą. Taip pat ir konstatuotas Kaufmano β - dalelių masės didėjimas augant greitumui remia šitą relatyvumo teorijos išvadą. Taigi, atsimenant šitą išvadą reikia manyti, kad susidarant

helio atomui iš 4 protonų 0,032 gramai masės virsta $0,032\ (3.10)^2 = 0,288.10^{20}$ ergų energijos. Tai yra toksai energijos kiekis, kuriuo galima būtų varyti be paliovos 16 dienų elektros variklį 2600 arklių galios. Vadinasi, tąja energija, kuri glūdi masėje 0,032 gramų, galima būtų nuvaryti didelis garlaivis iš Klaipėdos į New-Yorką. Taigi, energijos kiekiai, kurie glūdi masėje, yra tiesiog pasakiški, tik, deja, neprieinami dabar ir, turi būti, vargu bus prieinami ateityje. Į šitą masės pavertimą energija, susidarant iš protonų branduoliams sunkesnių elementų, galima žiūrėti kaipo į būtiną susigrūdimo protonų padarinį. Visi tie elementai, pavyzdžiui, anglies elementas, deguonis, siera, molibdenas, wolframas ir kiti, kurių atominė masė yra kartotina 4, sudaryti helio branduoliais. O visi kiti elementai sudaryti vandenilio ir helio branduoliais. Pirma išvada remiasi radioaktingumu, o antroji Rutherfordo eksperimentais įvairių atomų skaldymo α - dalelėmis.

Visos fiziškai chemiškos elemento savybės apibrėžiamos jo planetiniais elektronais ir visų pirma valentingumo elektronais arba palaidais elektronais pačio išorinio elektronų žiedo. Toksai išorinis žiedas turi tik vieną elektroną šarminiuose metaluose, du elektronus žemės šarminiuose metaluose, tris elektronus elementuose trečios grupės ir t. t. ir 7 elektronus elementuose VII grupės. Elementai nulinės grupės, išėmus helį, turi 8 elektronus. Tai yra pastoviausios atominės sistemos ir todel elementai nulinės grupės nereiškia jokio palinkimo jungtis su kitais elementais. Skaičius elektronų išoriniam žiede VIII grupės elementų gali svyruoti. Duota čia schema elektronų padalijimo atomo žiede remiasi Juozapo Thomsono matematiškais klausimo nagrinėjimais, kiek gali būti elektronų pusiausvyroje vienam žiede, arba vienoje orbitoje, artimiausioje nuo branduolio, ir kiek, aplamai, žiedų susidaro, kad būtų pusiausvyra, imant tokį skaičių elektronų, kuris yra lygus atominiam skaičiui. Be to, matematiški Thomsono nagrinėjimai paremti Mayerio bandymais pusiausvyros tarp magnetinių polių tos pačios rūšies, kurie pasiskirsto visuomet keliais žiedais, kada skaičius tų magnetinių polių yra didesnis kaip 5.

Elementų radioaktingumas pareina nuo branduolio struktūros. Radioaktingumas reiškiasi išmetimu α - dalelių ir β - dalelių nepaprastai dideliu greitumu, t. y. nepaprastai didelės energijos. α - dalelės gali būti tik iš branduolio. β - dalelės yra elektronai, bet tos β - dalelės, kaip jau mes matėme, turi greitumų, kurie labai mažai skiriasi nuo šviesos greitumo, ir todel tos β - dalelės negali būti iš išorinės atomo dalies, o tiktai iš branduolio, nes toksai didelis greitumas gali būti tik išdava galingų jėgų, veikiančių tarp branduolio protonų ir branduolio elektronų. Priežastis radioaktingumo, kaip jau anksčiau paminėta, nežinoma. Aplamai, radioaktingumą reiškia sunkūs atomai, t. y. sudėtinės struktūros. Galima manyti, kad juo sudėtingesnė struktūra, juo mažesnis sistemos pastovumas. Išlekiant α ir β - dalelėms likusioji dalis branduolio persigrupuoja ir sudaro naują pusiausvyros sistemą, naują atomą, didesnio arba mažesnio pastovumo. Bet greičiau ar vėliau ir tas atomas nustoja α ir β - dalelių ir duoda vėl naują atomą ir t. t. γ - spinduliai yra atominis padaras, yra bombardavimo vaisius β - dalelėmis pačios radioaktingos medžiagos, o radioaktingos emanacijos yra sudėtos iš tų naujų atomų, kurie susidaro išlėkus α ir β - dalelėms.

Del suderinimo teigiamo atomo centro arba branduolio su planetiniais elektronais, kaip jau anksčiau pasakyta, yra du atomo modeliai J. Thomsono ir Rutherfordo. Thomsono modelis nustatytas einant hipoteze, kad teigiama atomo dalis užima visą atomo tūrį, o planetiniai elektronai įterpti į tą teigiamą branduolį sferinės formos ir padalyti jame koncentriniais sluogsniais einant elektrostatinės pusiausvyros reikalavimais, kurie nustatyti J. Thomsono matematiškais samprotavimais. Bet šitas atomo modelis prieštarauja tam Rutherfordo nustatytam faktui, kad α-dalelės, prasiskverbdamos pro plonus metalų sluogsnius, daugumoje neatsilenkia nuo savo tiesialinių orbitų. Kadangi α-dalelės teigiamai užtaisytos, tai dauguma tų dalelių taip toli eina pro šalį teigiamų, sakysim, aukso atomų branduolių, kad elektriškos atsparos jėgos neveikia ir tų dalelių neatlenkia. Vadinasi, į teigiamus atomo branduolius reikia žiūrėti kaipo į taškus, kaipo į teigiamas daleles, užimančias labai mažą tūrį. Taigi, remdamasis α-dalelių išsklaidymu, pereinant joms per plonus metalų sluogsnius, Rutherfordas pasiūlė tokį

atomo modelį: atomo centrą užima branduolis ir to branduolio tūris yra labai mažas dydis, sulyginti su visu atomo užimtu tūriu. Planetiniai elektronai padalyti apie šitą teigiamą centrą koncentriniais žiedais arba koncentrinėmis orbitomis, prisilaikant J. Thomsono matematiškai nustatytų elektronų susigrupavimo dėsniu pusiausvyros būklei. Be to, reikia manyti, kad elektronai sukasi savo orbitomis, nes kitaip nebūtų pusiausvyros tarp teigiamo centro ir planetinių elektronų, ir tie elektronai sudribtų į centrą, kaip nudribtų mėnulis ant žemės arba, aplamai, planetos ant saulės, jeigu jos nejudėtų savo orbitomis. Juo toliau elektronas nuo centro, juo mažesnė jo kinetinė energija, reikalinga pusiausvyrai palaikyti, ir atbulai. Taigi, artinantis elektronui prie centro, jo kinetinė energija didėja, o tolinantis nuo centro ta energija mažėja.

Šiandien yra ir vienos ir antros hipotezės šalininkų, nes yra faktų, kurie geriau suderinami su Thomsono atomo modeliu, ir yra faktų, kurie geriau suderinami su Rutherfordo modeliu. Chemikų tarpe daugiau prisilaikoma Thomsono modelio, o fizikai atiduota pirmenybę Rutherfordo modeliui todel, kad tas Rufherfordo modelis geriau išaiškina komplikuotą fenomeną elementų spektrų.

Priėmus Rutherfordo atomo modelį ir žiūrint į elektronų virpėjimą kaipo į išteklių šviesos bangų, kaip tai išeina iš Zeemano efekto (žiūr. 24 §), reikia padaryti išvadą, kad atomas yra toki sistema, kuri nuolat leidžia energiją. Tokiomis sąlygomis elektronų energija mažėja, ir elektronai, nuolat artindamiesi prie teigiamo centro, turi nudribti į jį. Paimsime paprasčiausį vandenilio atomą, kuris yra sudėtas iš teigiamo centro ir vieno planetinio elektrono, kuris sukasi apie centrą. Taigi tas elektronas nuolat artinasi prie centro, jo greitumas nuolat didėja, vadinasi, didėja skaičius jo apsisukimų per sekundą arba jo virpėjimų dažnumas. Sekant vandenilio spektrą, sakysime, su pagalba Geislerio vamzdžio su praskiestu vandeniliu, einant per tą vamzdį elektros išlydžiui, mes turėsime vandenilio atomus su elektronais įvairiuose atokumuose nuo centro del nurodytos nuolatinės energijos emisijos, kitaip sakant, mes tuo pačiu laiku turėsime įvairių dažnumų elektrono virpėjimų ir todel, einant Maxwell'io elektromagnetine šviesos teorija, vandenilio spektre turėtų pasirodyti linijų įvairių įvairiausių dažnumų, vienu žodžiu, vandenilis turėtų duoti tolydinį spektrą. Tuo tarpu jis, kaip ir kiti elementai, duoda linijų spektrą (duoda keletą linijų serijų). Tai nesuderinama su Maxwell'io tolydybės principu, kuris sudaro pagrindą jo elektromagnetinės šviesos teorijai.

„Šviesos" skyriuje, 16 §, 270 — 287 puslapiuose mes matėme, kad pastanga surasti lygčiai juodos radiacijos, arba formulai, kuri galima būtų taikyti visoms dalims juodos radiacijos spektro ir apskaityti tų dalių energija, privertė Berlyno fiziką Planką atsisakyti nuo Maxwell'io tolydybės principo ir paskelbti garsią kvantų hipotezę. Einant šita hipoteze, energija leidžiama radiatoriu ne tolydžiai, bet tam tikromis porcijomis, kvantais. Energijos kvantas yra lygus dažnumui radiatoriaus, padauginus į vadinamą Planko konstantą h ($E = \nu h$. Čia E reiškia kvantą, ν — radiatoriaus dažnumą ir h—Planko konstantą, kuri Planko apskaitymais yra lygi $6{,}555.10^{-27}$ ergų - sekundų). Taigi, radiatorius tik tada išmeta energiją, kada jo energija pasiekia tam tikrą dydį, kuris yra kvantas, charakteringas radiatoriui, nes virpėjimai kiekvieno dažnumo turi savo kvantą. Iš lygties $E = \nu h$ bus $E = \frac{h}{T}$, nes $\nu = \frac{1}{T}$ (T čia reiškia virpėjimo periodą). Todel Planko konstanta $h = E.T.$ Sandauga iš energijos ir laiko vadinasi akcija. Taigi Planko hipotezės esmė yra ta, kad akcija, bent atomų santykiuose, nėra tolydinis procesas, o vyksta, taip sakant, atomais. Tokiu būdu atominiuose santykiuose reikia skaitytis ne tik su atomine materijos struktūra, bet ir su atomine energijos struktūra, paliekant tolydybės principą energijos ir materijos santykiams, kada veikia dideli materijos agregatai.

Nurodytą prieštaravimą tarp elektromagnetinės teorijos tolydybės principo ir elementų linijinių spektrų pašalino genialus Danijos fizikas Niels Bohr'as, remdamasis Planko kvantų hipoteze ir W. R. Hamiltono minimum akcijos principu. Bohr'as sako, kad elektronai būna ne ant visokių orbitų, o tiktai ant tam tikrų orbitų, kurias Bohr'as vadina pusiausvyros orbitomis. Būdami ant šitų orbitų atomai neleidžia energijos ir

leidžia ją tik tada, kada jie krinta nuo vienos tolimesnės nuo teigiamo centro orbitos į antrą artimesnę nuo teigiamo centro orbitą. Krisdami taip jie atiduoda vieną arba keletą energijos kvantų. Taip pat elektronai, nutoldami nuo teigiamo centro, peršoka nuo artimesnės pusiausvyros orbitos į tolimesnę pusiausvyros orbitą, absorbuodami energiją kvantais. Remdamasis minėtu Hamiltono minimum akcijos principu Bohr'as duoda formulą apskaityti šitoms elektrono pusiausvyros orbitoms (tiksliau kalbant, tų orbitų stipinams). Hamiltono minimum akcijos principas, labai svarbus fizikai, kiek fizika stengiasi išspręsti įvairius klausimus, remdamasi dinamika, pagrįstas tuo, kad orbita, kuria slenka materialinė dalelė arba fizinis kūnas įtakoje ryšių arba jėgų be trynimo, t. y. neeikvojant energijos trynimui pergalėti, yra tokios rūšies, kad materialinė dalelė arba kūnas pereina iš vienos padėties į kitą padėtį ant tos orbitos taip, jog akcija surišta su tokiu perėjimu visuomet yra minimalinė. Akciją čia reikia suprasti, kaip jau anksčiau pažymėta, sandaugą iš energijos į laiką. Energijos išmatavimai išreiškiami simboliu $M \cdot \frac{L^2}{T^2}$. Čia M reiškia masę gramais, T laiką sekundomis ir L ilgį centimetrais. Tad akcijos išmatavimai galima išreikšti tokiu simboliu: $M \cdot \frac{L^2}{T^2} \cdot T = M \frac{L}{T} L$. Bet $\frac{L}{T} = v =$ = greitumui. Taigi akciją galime išreikšti formula Mv. L. Šitoje formuloje Mv yra judėjimo momentas arba judėjimo kiekis. Taigi, akcija yra sandauga tam tikro judėjimo kiekio į atliktą kelią. Bet, kaip augščiau parodyta, Planko konstanta $h = E \cdot T$. Vadinasi, šitą konstantą galime išreikšti kaipo sandaugą tam tikro judėjimo momento į atliktą kelią. Kadangi Planko kvantas $E = \nu \cdot h$, tai ir tas dydis galima išreikšti kaipo sandauga tam tikro judėjimo kiekio į atliktą kelią.

Bohr'as sako, kad kiekviena pusiausvyros orbita, kuria sukasi elektronas neatiduodamas energijos, charakterizuojasi tam tikru energijos kvantu arba tam tikru sveiku skaičiumi n akcijos atomų h. Taigi šitą skaičių galima sulyginti su akcija Hamiltono prasme. Pažymėsime elektrono masę raide m, jo greitumą raide v ir jo orbitos stipiną raide r. Tad elektrono akcija Hamiltono prasme bus m v. $2 \pi r$. Šitas dydis turi būti lygus nh. Vadinasi, m v. $2 \pi r = nh$. Remdamasis Coulombo dėsniu ir žinodamas pusiausvyrą tarp centrinės elektrostatinės jėgos, veikiančios tarp elektrono ant orbitos ir teigiamo branduolio, ir išcentrinės jėgos, kuri veikia elektroną ant orbitos, Bohr'as duoda tokią bendrą lygtį stipinui pusiausvyros orbitos: $r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 Ne^2 m}$. Čia n, h, m turi jau nurodytos reikšmės, o N reiškia atomo teigiamo branduolio įlydžių skaičių ir e elektrono įlydį elektrostatiniais vienetais. Ši lygtis parodo, kad stipinai statiškų elektrono orbitų yra proporcingi n^2, t. y. santykiuoja kaip eilė paprastų sveikų skaičių kvadratų, pradėjus vienetu. Kaipo pavyzdį apskaitysime artimiausios nuo branduolio pusiausvyros orbitos stipiną r vandeniliui. Tokiomis sąlygomis $n = 1$, $N = 1$, $e = 4{,}77.10^{-10}$ elektrostatinių vienetų ir $m = 9.10^{-28}$ gramų ir $h = 6{,}555.10^{-27}$ ergų sekundų. Tad $r = \frac{(6{,}555.10^{-27})^2}{4\ (3{,}14)^2\ (4{,}77.10^{-10})^2.\ 9.10^{28}} = 0{,}52.10^{-8}$ cm. Atomo radius yra apie 10^{-8} cm. Tad pati artimiausia elektrono orbita vandenilio atomui yra atokume atomo stipino. Kitos pusiausvyros orbitos randasi jau šalia užimto atomo tūrio.

Elektrono energija ant pusiausvyros orbitos yra sudėta iš dviejų dalių: iš potencinės ir kinetinės energijos, kaip ir energija planetos, kuri sukasi apie tam tikrą centrą. Kada elektronas randasi begaliniam atokume nuo teigiamo centro (nuo branduolio), tai jo kinetinė energija yra lygi nuliui (sukimosi greitumas apie centrą yra lygus nuliui). Vadinasi, potencinė energija elektrono tada pasiekia maksimumą. Pažymėsime šitą maksimalę potencinę energiją raide $W\infty$. Šita maksimalė potencinė energija yra lygi darbui, kuris reikalingas nuvaryti elektronui nuo branduolio į begalinį atokumą. Kitaip sakant, ta energija yra lygi atomo ionizacijos darbui. Praktiškai kalbant, atomo ionizacija yra nuvarymas atomo ne į begalinį atokumą nuo branduolio, bet į tokį ato-

kumą, kuriame nustoja veikusios elektrostatinės traukos jėgos tarp teigiamo branduolio ir elektrono. Aplamai, tasai atokumas labai mažas, bet jis yra labai didelis, sulyginti su atokumu elektrostatinių jėgų veikimo tarp elektrono ir branduolio. Antra vertus, darbas, reikalingas nuvaryti elektronui nuo branduolio ligi orbitos stipino r, yra lygus $\frac{e.Ne}{r}$ Čia e reiškia elektrono įlydį, o N reiškia atominį branduolio skaičių. Taigi potencinė energija elektrono ant orbitos stipino r yra lygi $W\infty - \frac{Ne^2}{r}$, o elektrostatinės traukos jėga, kuri veikia elektroną ant orbitos stipino r, yra lygi $\frac{e.Ne}{r^2}$. Šita elektrostatinės traukos jėga, kad elektronas pasiliktų ant orbitos, turi būti lygi išcentrinei jėgai, kuri veikia elektroną. Taigi, mes turime $\frac{mv^2}{r} = \frac{Ne^2}{r^2}$, iš to: $\frac{mv^2}{2} = \frac{Ne^2}{2r}$. Tai yra kinetinė elektrono energija ant orbitos stipino r. Taigi, visa elektrono energija ant orbitos stipino r, kurią pažymėsime raide W_r, gali būti išreikšta tokia lygtimi: $W_r = W\infty - \frac{Ne^2}{r} + \frac{Ne^2}{2r} = W\infty - \frac{Ne^2}{2r}$, arba pakeitę šitoje lygtyje r per $\frac{n^2h^2}{4\pi^2Ne^2m}$ (tai yra reiškinys pusiausvyros orbitos stipinui r), mes gausime visai elektrono energijai (jo potencinei + kinetinei energijai) tokią formulą: $W_r = W\infty - \frac{2\pi^2mN^2e^4}{n^2h^2}$.

Bohr'o pusiausvyros orbita yra toki orbita, apie kurią elektronas sukasi neatiduodamas energijos. Elektronas įtakoje tų ar kitų išorinių veiksmų, šilimos, šviesos, elektriškų jėgų ir t. t, pagal Bohr'ą, gali nudribti nuo vienos tolimesnės orbitos į kitą artimesnę orbitą, kada tos išorinės jėgos suteiks jam kvantą energijos. Dribdamas taip jis atiduoda energiją, bet visuomet kvantais. Taip pat elektronas gali peršokti nuo artimesnės orbitos į tolimesnę orbitą ir tokiu atveju jis absorbuoja energiją, bet visuomet kvantais. Taigi, pagal Bohrą, elektronas gali būti tiktai ant pusiausvyros orbitų, kurių energija visuomet skiriasi sveiku skaičiumi kvantų (1, 2, 3 ir t. t. kvantais). Perėjimas elektrono nuo artimesnės orbitos į tolimesnę reiškia atomo ionizaciją, o kritimas elektrono nuo tolimesnės orbitos į artimesnę reiškia rekombinaciją elektrono su branduoliu. Šituo pastaruoju atveju atomas leidžia energiją, kuri pasireiškia tam tikromis linijomis spektre. Taigi Bohr'as nustato, eidamas savo pustulatu, formulą spektro linijos dažnumui ν. Pažymėsime dviejų pusiausvyros orbitų stipinus iš eilės raidėmis r_1 ir r_2 (r_1 artimesnė nuo branduolio orbita, r_2 tolimesnė). Tad atsimenant duotą formulą energijai elektrono ant orbitos stipino r galima išreikšti skirtumas energijų tų dviejų orbitų tokia lygtimi: $W_{r_2} - W_{r_1} = W\infty - \frac{2\pi^2mN^2e^4}{n^2_2h^2} - \left(W\infty - \frac{2\pi^2mN^2e^4}{n^2_1h^2}\right) = \frac{2\pi^2mN^2e^4}{h^2}\left(\frac{1}{n^2_1} - \frac{1}{n^2_2}\right)$.

Bet, einant Bohr'o hipoteze, $W_{r_2} - W_{r_1} = \nu.h$. Taigi linijos dažnumas, pagal Bohr'ą, išreiškiamas tokia lygtimi: $\nu = \frac{2\pi^2mN^2e^4}{h^3}\left(\frac{1}{n^2_1} - \frac{1}{n^2_2}\right)$. Cia n_1 ir n_2 gali būti pakeisti eile paprastų sveikų skaičių. Tai atsimenant, Bohr'o lygtis linijos dažnumui supuola su duota Rydbergo lygtimi $\nu = R\left(\frac{1}{m^2_1} - \frac{1}{m^2}\right)$, kurioje m_1 ir m pakeičiami eile paprastų sveikų skaičių.

Duota čia Bohr'o lygtis spektro linijos dažnumui veikia tik tokiam atsitikimui, kada prie branduolio artinasi tik vienas elektronas. Tokį atsitikimą mes turime, kada prie vandenilio branduolio artinasi vienas elektronas, nes vandenilio atomas, kaip mes jau matėme anksčiau, yra paprasčiausios struktūros ir sudarytas vienu protonu ir vienu

elektronu. Reiškinys Bohr'o lygtyje $\frac{2\pi^2 m N^2 e^4}{h^3}$ yra tam tikra konstanta, nes visi dydžiai tame reiškinyje yra konstantos. Vandenilio atomui šita konstanta bus $\frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} = R$ (R yra jau žinoma Rydbergo konstanta, nustatyta spektrometriniais matavimais). Bet dabar mes galime šitą Rydbergo konstantą apskaityti iš privestos formulos, kurioje m reiškia elektrono masę, e elektrono įlydį ir h Planko konstantą — visi žinomi jau mums dydžiai. Taigi

$$R = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} = \frac{2(3,14)^2 9.10^{-28}(4,77.10^{-10})^4}{(6,555.10^{-27})^3} = 3,2865.10^{15}.$$

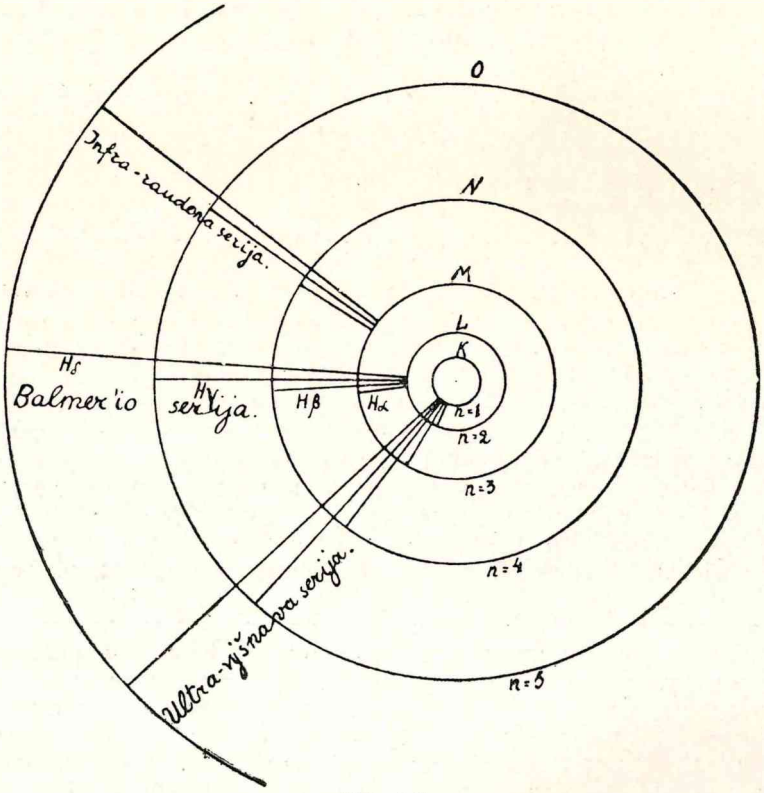
Rydbergo konstanta R reiškia bangų skaičių 1 cm., kitaip sakant, reiškia dažnumą, padalytą į šviesos greitumą. Taigi, R vandeniliui yra lygus $\frac{3,2865.10^{15}}{3.10^{10}} = 109550$, o iš spektrometrinių matavimų mes turime šitai konstantai skaičių 109678 (žiūr. šitame paragrafe augščiau). Toksai sutapimas Rydbergo konstantos apskaitant ją iš Bohr'o formulos ir iš spektrometrinių matavimų yra geriausias Bohr'o teorijos tikrumo įrodymas.

357 piešinys atvaizduoja vandenilio atomo modelį pagal Bohr'ą. Artimiausia nuo branduolio orbita vadinama išvidinė orbita, kurios stipinas, kaip jau anksčiau apskaityta, yra lygus $0,52.10^{-8}$, pažymėta čia raide K. Šitai orbitai $n = 1$. Antra iš eilės orbita pažymėta raide L, trečia raide M, ketvirta raide N, penkta raide O ir, pagaliau, be raidės orbita begalinio atokumo. Šitoms orbitoms n_i iš eilės yra lygus 2, 3, 4, 5... Anksčiau jau parodyta, kad pusiausvyros orbitų radijai yra proporcingi kvadratams sveikų skaičių, pradedant nuo 1. Taigi, piešiant vandenilio orbitas tikru dydrodžiu, reikėtų orbitai L paimti stipinas 4 syk didesnis kaip orbitai K, o orbitai N 9 syk didesnis, orbitai N 16 syk didesnis ir t. t. Aišku, kad piešiant prisilaikant tokio dydrodžio negalima būtų ant popieriaus lapo patalpinti vandenilio orbitų schemos. Todel 357 piešiny šitos orbitos atvaizduotos netikru dydrodžiu. Orbitos L, M, N ir t. t. vadinamos išorinėmis orbitomis. Toks pat pažymėjimas orbitų pasilieka ir piešiant kitų elementų atomų schemas.

Pagal Bohr'o teoriją, vandenilio atomo radiacija atrodo taip. Kada elektronas traukiamas prie branduolio, tai jis gali nukristi iš begalinio atokumo ligi išvidinės orbitos K, arba tik ligi antros orbitos L, arba tik ligi trečios orbitos — M ir t. t. Aišku, kad nukritęs iš tolo arba nuo vienos iš išorinių orbitų ligi išvidinės orbitos K jis atpalaiduos daugiausia energijos, kuri, aplamai, bus lygi dažnumui, padauginus į Planko konstantą. Taigi, spektro linijos, kurios pasireikš kaipo rezultatas tokio elektrono kritimo į išvidinę orbitą, bus didžiausio dažnumo linijos ir bus nematomoje ultra-violetinėje spektro dalyje. Tai bus Lymano serija, sudėta iš 5 linijų. Kaip jau mes matėme anksčiau, šita Lymano serija yra tuo pačiu laiku vandenilio K-serija. Didžiausio dažnumo linija tos serijos bus tada, kada elektronas nudribs iš begalinio atokumo į orbitą K, ir mažiausio dažnumo linija tos serijos bus tada, kada elektronas nudribs iš orbitos L į orbitą K. Šitie santykiai pažymėti 357 piešiny atatinkamu skaičiumi ir atatinkamo ilgumo spinduliais. Jau mes matėme, kad Rydbergo empirinė formula galima apskaityti dažnumai šitos serijos linijų. Tas pats galima padaryti ir Bohr'o formula, kuri yra identiška su Rydbergo formula.

Balmerio serija arba serija matomoje spektro dalyje, pagal Bohr'ą, susidaro krintant elektronui iš begalinio atokumo, arba nuo orbitų O, M, N tik ligi orbitos L. Šita Belmerio serija yra sudėta iš keturių linijų, iš kurių didžiausio dažnumo linija H_δ (kraštutinė violetinė linija) gaunama tada, kada elektronas krinta iš begalinio atokumo į orbitą L, ir mažiausio dažnumo H_α (raudona linija), kada elektronas krinta iš orbitos M į orbitą L. Šita serija 357 piešiny pažymėta keturiais spinduliais. Pagaliau tam pačiam piešiny trimis spinduliais pažymėta Pascheno serija infra-raudonoje spektro dalyje. Šitą linijų seriją duoda elektronas krisdamas iš begalinio atokumo ligi orbitos M (didžiausio dažnumo linija), arba nuo orbitos O ligi orbitos M, arba nuo orbitos N ligi orbitos M (mažiausio dažnumo šitos serijos linija).

Išdėstyta čia interpretacija vandenilio serijų spektro duoda bendrą supratimą apie Bohr'o teoriją. Prisilaikydamas tų pačių principų Bohr'as stengėsi sukurti ir kitų elementų atomų modelius. Reikia vienok pasakyti, kad matematiškai galima išspręsti klausimas tik vandenilio atomui ir dar helio branduoliui su vienu teigiamu laisvu įlydžiu, vadinasi, helio vienvalentingam ionui. Ir vienu ir antruoju atsitikimu mes turime sistemą dviejų kūnų, iš kurių vienas sukasi apie antrą kaip apie centrą. Problema dviejų kūnų judėjimo išspręsta matematiškai. Bet kada mes turime ne vieną planetinį elektroną, o du, tris ir daugiau, tai problema judėjimo ir perturbacijų tokios sistemos matematiškai nėra dar šiandien išspręsta. Todel tokiems atomams Bohr'as stengiasi surasti konfigūracijas, taip sakant, apčiupomis. Kai kuriems lengvesniems atomams jam jau pasisekė surasti tokias konfigūracijas, kurios visai atatinka tų atomų spektrus. Bohr'as tikisi, kad jam pasiseks išspręsti šitas uždavinys ir sunkesnių atomų atžvilgiu.



357 pieš.

Elektrono kinetinė energija ant artimesnės nuo branduolio orbitos yra didesnė, kaip ant tolimesnės nuo branduolio orbitos, ir net ir visa jo energija ant artimesnės orbitos yra didesnė, kaip ant tolimesnės orbitos. Iš tikrųjų, einant elektrostatikos dėsniais visa elektrono energija ant orbitos stipino r yra lygi $\frac{Ee}{2r}$. Čia E reiškia branduolio įlydį. Taigi aišku, kad visa elektrono energija ant orbitos mažesnio stipino yra didesnė, kaip ant orbitos didesnio stipino. O dribdamas nuo tolimesnės orbitos į artimesnę orbitą elektronas išleidžia energiją. Kįla klausimas, iš kur gi jis ima tą energiją? Kad suprastume šitą dalyką, pasinaudosime šiuo paprastu dinamikos pavyzdžiu. Gulsčiai ar nuožulniai mestas ant žemės akmuo arba šovinys slenka orbita, kuri yra ištemptos elipsės dalis. Vienas iš tos elipsės fokų sutampa su žemės centru. Vienu žodžiu, į mestą akmenį arba šovinį reikia žiūrėti kaipo į žemės palydovą, nelyginant kaip mėnulį. Jeigu toks akmuo nesisuka aplink žemę elipse, tai tik todel, kad akmuo, atlikęs tos orbitos dalį, paliečia žemę. Bet, jeigu suteiktume akmeniui arba šoviniui pakankamą greitumą, tai jis nebenukris ant žemės, o ims suktis apie žemę ištempta elipse, kurios vienas iš stipinų bus lygus žemės stipinui R. Pažymėsime akmens masę raide m. Tad akmens svoris mg yra ta jėga, kuria akmuo traukiamas prie žemės centro. Kad akmuo galėtų pasilikti ant orbitos stipino R, ta traukos jėga turi būti balansuota išcentrine

jėga $\frac{mv^2}{R}$. Čia v reiškia akmens greitumą. Taigi $mg = \frac{mv^2}{R}$. Iš kur seka $V = \sqrt{gR}$. Vadinasi, mes galime apskaityti greitumą, kuris reikia suteikti akmenui arba šoviniui, iššaujant jį iš patrankos, kad jis nebenudribtų ant žemės, o suktųsi aplink žemę orbita stipino R. Dabar išspręsime klausimą, koks greitumas reikia suteikti akmeniui arba šoviniui, kad jis atsitolintų nuo žemės begaliniu atokumu, vadinasi, išeitų iš sferos žemės traukos jėgos. Aišku, kad šitas greitumas bus lygus tam greitumui, kurį įsigyja akmuo nudribęs ant žemes iš begalinio atokumo. Dinamika mums sako, kad kūnas, kuris krinta iš begalinio atokumo, būdamas visą laiką įtakoje jėgos, kuri yra atvirkščiai proporcinga kvadratui atokumo, įsigyja greitumą $V = \sqrt{2gR}$. Taigi kinetinė energija akmens arba šovinio, nukritusio iš begalinio atokumo ligi orbitos radio R, bus

$$\frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} m \left(\sqrt{2gR}\right)^2 = mgR.$$

Tuo tarpu kinetinė energija akmens ant orbitos stipino R yra lygi $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\sqrt{gR}\right)^2 = \frac{1}{2}mgR$.

Taigi matyti, kad akmuo, krisdamas iš begalinio atokumo ant orbitos stipino R, įsigyja dusyk tiek kinetinės energijos, kiek jis turi ant orbitos stipino R. Tie patys dėsniai veikia ir elektronui. Krisdamas iš begalinio atokumo į orbitą stipino R elektronas įsigyja 2 syk tiek kinetinės energijos, kiek jis turi ant orbitos stipino R, ir, aplamai, krisdamas nuo vienos orbitos į kitą orbitą elektronas įsigyja kinetinės energijos 2 syk tiek, kiek jis turi ant tos kitos artimesnės nuo branduolio orbitos. Vadinasi, pusė įsigytos kinetinės energijos elektronas atiduoda radiacijos pavidalu, ir tas energijos kiekis yra lygus sveikam skaičiui kvantų, žinant, kad pusiausvyros orbitų energijos skiriasi 1, 2, 3 kvantais ir t. t. Visa tai liečia tokį atsitikimą, kada elektronas artinasi prie branduolio, vadinasi, kada mes turime rekombinacijos procesą. Tada elektronas leidžia energiją. Kada elektronas absorbuoja energiją, jis tada tolinasi nuo branduolio, ir mes tada turime ionizacijos procesą.

Mes pasinaudojome astronomine analogija, kad išaiškintume, iš kur elektronas ima energiją krisdamas nuo tolimesnės į artimesnę nuo branduolio orbitą arba pereidamas nuo tolimesnės į artimesnę orbitą. Bet nereikia užmiršti, kad tarp astronominės ir atominės sistemos yra skirtumo. Visų pirma, mes visai negalime sumažinti arba padidinti energijos kiekio tos ar kitos planetos, kuri sukasi aplink savo traukos centrą. Atomo srityje mes galime tai padaryti. Bombarduodami atomą kitais atomais arba molekulomis, arba atlikdami elektros išlydį mediume, kuriame randasi atomas, arba veikdami ultra-violetiniais, arba Röntgeno, spinduliais, mes galime nuskelti elektroną nuo atomo ir nuvaryti ji ant tolimesnės orbitos arba net į begalinį atokumą. Mes galime išvaryti elektroną visiškai iš atomo branduolio traukos sferos. Mes galime atomą ionizuoti. Tomis pačiomis sąlygomis elektronas gali įsigyti energijos kvantą ir tada jis krinta iš tolimesnės į artimesnę nuo branduolio orbitą, dažniausiai nusistovėdamas pačioje išvidinėje orbitoje K. Bet gali atsitikti ir taip, jog jis nudribs į patį branduolį, visiškai nustodamas savo kinetinės energijos. Bet tokiu atveju branduolis skils.

Kitas pagrindinis skirtumas tarp astronominės sistemos ir atominės sistemos yra tas, kad mažėjant arba didėjant planetos energijai del tų ar kitų priežasčių planeta tolydžiai nuosekliai artinasi prie savo traukos centro arba tolinasi nuo jo. Tuo tarpu elektronas pasilieka ant savo pusiausvyros orbitos absorbuodamas energiją tol, kol gauta jo energija pasidarys lygi kvantui, ir tik tada elektronas pereina į naują pusiausvyros orbitą. Pabrėšime čia dar sykį, kad mes ne tik nežinome, bet ir sunkiai suprantame tokį atomo mechanizmą, kuris veda prie energijos mainos su apylinka arba su pasauliniu eteriu kvantais.

Išdėstyta čia Bohr'o atominės radiacijos teorija yra naujas dalykas ir toli gražu dar nepabaigtas. Taikant šitą teoriją atomams didesnio skaičiaus planetinių elektronų susidaro didelių sunkenybių, ir Bohr'as stengiasi tas sunkenybes nugalėti kombinuodamas Maxwell'io radiacijos tolydybės principą, kuris veikia didelėms atomų agrega-

tams, ir Planko kvantų teoriją, kuri veikia atomo mikrokosmui. Tas tad yra Bohr'o korespondencijos principas. Bohro nagrinėjimai šitoje srityje toli gražu dar nepabaigti ir nepaskelbti.

Išdėstyta paskutiniuose paragrafuose elektrinė materijos teorija kilo iš Farady'aus elektrolizės ir elektromagnetinės indukcijos dėsnių. Ta teorija, kaip ir kiekviena teorija, turi savo trūkumų. Bet ji apima kuone visas fizikos ir chemijos sritis ir įgalina ne tik suprasti visą eilę painiausių fenomenų, bet ir nurodo takus į naujus dalykus. Todel šių dienų fizikoje elektrinė materijos teorija vaidina labai svarbų vaidmenį.

Eteris ir relatyvybė.

28 §. Fizika ir matematika. Tarpininkaująs fiziniams procesams mediumas. Eteris ir absoliutiškas judėjimas. Michelson'o ir Morley'o eksperimentas (1887). Fitz-Gerald'o išvados. Lorentz'o vietinis laikas ir koordinatų transformacija elektromagnetiniam laukui. Einšteino išvados iš Michelson'o ir Morley'o eksperimento (1905). Specialė ir bendroji relatyvybės teorija. Naujoji mechanika. Masės ir energijos tapatybė. Silpnos Einšteino teorijos pusės ir jos dabartinis krizis.

Nuo graikų filosofų laikų fiziniams-cheminiams procesams nagrinėti vartojami du metodai: mechaniškas ir matematiškas. Vieni fizikai, sekdami Demokritu, stengiasi suprasti fizinio pasaulio fenomenus, eidami paprasčiausiais žinomais mechaniškais fenomenais, ir nori sudaryti dinamišką fizinio pasaulio vaizdą; vienu žodžiu, stengiasi interpretuoti visus fizinius fenomenus mechaniškai. Kiti fizikai prisilaiko Aristotelio metodo, kurio nuomone mokslo uždavinys yra aprašyti koegzistencijos vienodumus arba įvykių procesą tokiais terminais, kurie galima būtų patikrinti tiksliau ir pilniau, taip kad remiantis dideliu skaičiumi prityrimų galima būtų sudaryti bendroji koncepcija, apimanti visus panašius atsitikimus. Aristotelis netiki, kad fizikui lemta būtų suprasti gamtos reiškinių esmė ir laiko bergždžiu darbu visas šios rūšies pastangas. Todel jis pasitenkina fenomenų aprašymu, kaip yra pasakyta. Tiksliam, trumpam ir aiškiam mokslo tiesų formulavimui mokslas vartoja matematikos kalbą. Precizijos moksluose, kaip fizika, matavimai ir kiekybiniai santykiai, turi pagrindinės reikšmės ir leidžia charakterizuoti tuos ar kitus fenomenus skaičiais. O priėjus skaičius galima toliau jais operuoti remiantis abstraktiškais matematikos dėsniais ir tokiu būdu spręsti fizikos problemos. Einant šituo keliu fizikas privalo visuomet pradėti savo matematiškus nagrinėjimus nuo dalykų, prieinamų eksperimentui, ir gauti išvadų, kurios galima patikrinti eksperimentu. Taigi fizikui matematika yra labai branginama ir gerbiama tarnaitė, bet ne vadas, nes matematika, prisilaikydama savo aksijomų ir savo geležinės logikos, gali privesti ir prie tokių išvadų, kurių negalima patikrinti eksperimentu. O tokios išvados neturi fizikui jokios reikšmės.

Reikia vienok pasakyti, kad galvojimas apie fizikos fenomenus su pagalba dinamiškų modelių labai dažnai atidaro naujas fizikos sritis ir padeda matematikai plėtotis. Matematika dažnai per fiziką prieina naujų dalykų, nors būna ir tokių atsitikimų, kad fizikas, susidūręs su naujais dalykais savo srityje, randa jau gatavus naujus apibendrintus matematikos dėsnius, su kurių pagalba jis gali suteikti naujiems fizikos dalykams atatinkamą matematišką formą. Taigi, tikrenybėje vienas ir antras metodas yra vienodai naudingi ir todel nėra prasmės daryti pastangų eliminuojant visiškai iš fizikos srities vieną metodą o paliekant tik antrąjį. Jie abudu vienodai reikalingi ir jų dviejų dėka šių dienų fizika yra pasiekusi tikrai iškilmingus rezultatus.

Nagrinėjant gravitacijos, magnetizmo ir elektros apsireiškimus iš pradžios buvo manoma, kad vienas kūnas gali veikti antrą be jokio tarpininkavimo, tiesioginiu būdu,

taip sakant, per atokumą. Tokios „actio in distans“ (veikimas per atokumą) priėmimas netrukdė fizikams nustatyti kai kuriuos pagrindinius dėsnius, kaip visuotinos traukos dėsnis, Kulono magnetinių ir elektrini jėgų veikimo dėsnis, Ampero elektrodinami nis dėsnis ir kiti. Visi šitie dėsniai buvo nustatyti remiantis kai kuriais prityrimo faktais ir vartojant matematikos metodą. Bet nuo seniausių laikų šita koncepcija „actio in distans“ buvo nepriimtina kai kuriems galvotojams. Veikimas per tuščią erdvę jiems atrodė negalimas. Jie negalėjo sutikti, kad materija galėtų veikti ten, kur jos nėra. Vienas kūnas gali veikti kitą kūną tik tada, kada tie du kūnai yra betarpiškame kontakte arba kada tarp tų dviejų kūnų veikia tam tikri materialiniai santykiai. Newtonas, išradęs gravitaciją ir su pagalba vien tik matematikos nustatęs visuotinos traukos dėsnį, nepaisant savo tvirtinimo, kad jis nemėgstąs kurti hipotezių („hypotheses non fingo“), visgi norėdamas suprasti gravitaciją griebėsi senos etero hipotezės, griebėsi, taip sakant, tarpininkaujančios medžiagos, mediumo, kuris nepertraukiamai užpildo, kaipo kontinuumas, visą pasaulį, užimdamas tarpus ne tik tarp didelių agregatų materijos, bet ir tarp mažiausių jos dalių, molekulų ir atomų. Jis aiškina gravitaciją eterio tempimais tarp dangaus kūnų, kurie tempimai susidaro todel, kad eterio spaudimas betarpiškame kontakte su kūnais yra mažesnis kaip toliau nuo kūnų. Kaip jau mes žinome, pasaulinio eterio hipotezė pasidarė būtina šviesos fenomenams išaiškinti. Youngo ir Fresnelio darbai įrodė periodiškumą šviesos fenomenų, įrodė, kad šviesa skleidžiasi erdvėje bangomis ir, kadangi bangos neša su savimi energiją, tai reikėjo užpildyti tuščią erdvę tam tikra medžiaga, pažymėta inercija ir elastingumu, nes bangos gali būti tik tokioje medžiagoje. Bet šviesos bangos skleidžiasi su nepaprastai dideliu greitumu ir, be to, yra skersos bangos. Todel teko priskirti šviesos eteriui ir nepaprastų fizinių savybių, taip kad sunku buvo jis prilyginti paprastai medžiagai. Ir čia jau prasidėjo prieštaravimai tarp fizikų del šito šviesos eterio, ypač kad reikėjo išaiškinti tas faktas, kad dangaus kūnai slenka per eterį be jokio trynimo, be jokio pasipriešinimo, nepaisant milžiniškų greitumų. Taigi, vieni manė, kad eteris yra medžiaga ultra praskiestoje būklėje, o kiti manė priešingai, kad eteris yra nesuspaudžiamas tobulas skysčius, bet nepaprastai didelio masingumo ir elastingumo, taip kad pagaliau tas eteris elgiasi kaip kiečiausis kūnas. Šitie prieštaravimai smulkiau pažymėti „Šviesos“ skyriuje, 14 §, 214, 215 ir 216 puslap.

Kad būtų suprantami elektrostatinės ir elektromagnetinės indukcijos reiškiniai, Faraday'ui irgi reikalingas buvo mediumas, nes jis nepriėmė „actio in distans“ ir, be to, buvo įsitikinęs, kad elektrostatinė ir elektomagnetinė indukcijos skleidžiasi erdvėje ne begaliniu greitumu, bet baigtu greitumu, nors ir labai dideliu. 23 § išdėstyti motyvai, del kurių Faraday'us manė, kad elektromagnetiniai fenomenai ir šviesos fenomenai reiškiasi tam pačiam mediume, būtent, etere. Jis stengėsi sudaryti sau to eterio struktūros vaizdą, bet, susidūręs su nurodytais jau prieštaravimais, pasitenkino sukūręs elektostatinio ir magnetinio jėgų laukų vaizdą, kuriuo būtų išaiškinta elektromagnetiniai fenomenai. Maxwell'is, susipažinęs su Faraday'us idėjomis, sudarė sau mediumo vaizdą pavidalu mechaniškos transmisijos sistemos, trumpai išdėstytos 23 §. Remiantis tokios struktūros mediumu Maxwell'is išaiškino visus Faraday'aus jėgų lauko ypatumus, lygiai kaip ir elektromagnetinės indukcijos dėsnius, Faraday'aus nustatytus. Be to, Maxwell'is konstatavo, kad jo sukurtam mediumui yra labai panašus tobulas skysčius, kurio dalys randasi verpetų judėjimo būklėje, ir todel galėjo pritaikyti savo mediumui hidrodinamines lygtis ir sukurti garsias elektromagnetinio lauko lygtis.

Tobulas skysčius, kurio dalys yra pagautos verpetais, pasižymi visais charakteringais kieto kūno ypatumais, ir tuo remiasi Williamo Thomsono materijos verpetų teorija. Toksai skysčius charakterizuojasi deformacijos elastingumu kaip kietas kūnas ir praleidžia skersas bangas. Priminsime, kad Williamo Thomsono teorija remiasi gyrostatiniais verpetų veikimais. Be to, iš tos Thomsono teorijos matyti, kad skersos bangos skleidžiasi tokiam mediume kaip tik tuo pačiu greitumu, kurį turi verpetai. Jeigu sudarytume skersus svyravimus begalinėje elastingoje virvėje, tai tokie svyravimai skleidžiasi per virvę kaip tik tuo pačiu greitumu, kuriuo sukasi virvė, kuri taip pat sukasi. Priimant eterio verpetų teoriją, reikia sutikti, kad eterio verpetai turi šviesos greitumą. Toksai

eteris, einant Thomsono teorija, pasižymi tokiu elastingumu ir tokiu masingumu, iš kurių išeina etery konstatuotas šviesos greitumas. Antra vertus, kaip jau mes matėme 23 §, Maxwell'is įrodė, kad eterio elastingumas $\left(\frac{2\pi}{K}\right)$ yra atvirkščias dydis eterio elektrostatinio veikimo, o eterio masingumas arba tankumas yra lygus magnetiniam pralaidumui μ.

Sutikus, kad eteris yra substratas elektromagnetiniams fenomenams ir priėmus elektrinę materijos teoriją, išdėstytą 25, 26 ir 27 §§, išeina, kad materija sudaryta iš eterio. Bet materija charakterizuojasi judėjimu. Tai yra materijos pagrindinis požymis, o eteris, kaipo tobulas nesuspaudžiamas skysčius, užpildo visą erdvę ir, vadinasi, apie eterio translaciją arba lokomociją negali būti kalbos. Eterio dalys yra pagautos verpetų, bet tie verpetai pasilieka ant vietos. Taigi prie to sunkumo suprasti labai kietą eterį, kuriame vienok laisvai slenka fiziniai kūnai, prisideda dar antrasis sunkumas — išaiškinti, kokiu būdu eteris virsta materija, ir tų materializuotų eterio dalių translaciją, arba lokomociją, etere. Šituo atžvilgiu mes turime tiktai spėjimų. Į materiją žiūrima kaipo į vietinę individualizaciją eterio, nelyginant kaip į mazgus ant virvės. Virvė nėra mazgas, bet mazgas, padarytas iš virvės. Taip pat ir eteris nėra materija, nors ir priklauso fiziniam pasauliui, bet materija yra padaryta iš eterio, nelyginant kaip mazgai padaryti iš virvės.

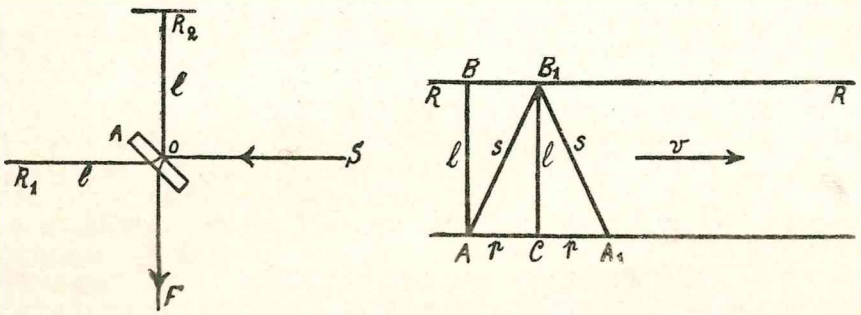
Taip pat nėra aiškaus atsakymo į klausimą del santykių tarp materijos lokomocijos ir eterio pastovumo. Tai yra senas klausimas fizikoje ir surištas su absoliutinio judėjimo klausimu. Newtono dinamikoje kalbama tik apie relatyvį judėjimą, nes kiekvienos dalelės judėjimas, slinkimas, sekamas atžvilgiu tam tikros koordinatų sistemos, surištos su ta ar kita fizinių kūnų sistema. Kadangi parimusios materialinės sistemos mes nežinome, tai ir neturime supratimo apie absoliutinį judėjimą. Bet jeigu eteris lokomocijos atžvilgiu pastovus, jeigu jis šita prasme nejudomas, tai galima sekti judėjimas atžvilgiu tokio nejudomo eterio, ir tada bus nustatytas absoliutinis judėjimas. Taip klausimą pastatė dar 1881 metais žymus Amerikos fizikas, Clevelendo augštosios mokyklos profesorius, Michelsonas. Jeigu eteris nejudomas, tai matuojant, sakysime, šviesos greitumą išilgai žemės orbitos, tai yra su žemės judėjimu, ir skersai tam judėjimui, šviesos greitumui išeis dvi skirtingos vertės einant žinomais kinematikos dėsniais. Preleminarinį eksperimentą Michelsonas atliko 1881 metais, bet pagrindinį eksperimentą jis atliko 1887 metais kartu su kitu Clevelendo augštosios mokyklos profesorium, būtent, su Morley'u. Kadangi tasai eksperimentas Michelsono ir Morley'o buvo pradžia savotiškos revoliucijos fizikoje, tai trumpai išdėstysime čia šito eksperimento teoriją. Michelsono interferometras, kurį vartojo Michelsonas ir Morley tame istoriškame eksperimente, smulkiai aprašytas „Šviesos" skyriuje (žiūr. 12 §, 188—190 pusl.). Todel mes čia tik pasitenkinsime paprasčiausia Michelsono ir Morley'o aparatūros schema (žiūr. 358 pieš.). Mes čia turime šviesos išteklių S, iš kurio šviesa puola ant stiklo plokštelės A interferometro. Šviesos spindulys dalinai atsimuša nuo plokštelės taške O ir pasiekia plokščią veidrodį R_2 interferometro, dalinai prasiskverbia pro plokštelę ir pasiekia kitą plokščią veidrodį R_1. Atmuštas nuo veidrodžio R_1 šviesos spindulys atsimuša nuo plokštelės A ir patenka į žiūroną F. Taip pat atmuštas nuo veidrodžio R_2 šviesos spindulys, prasiskverbęs per plokštelę A, patenka į tą patį žiūroną (žiūr. „Šviesos" 188 pusl.). Jeigu optiški keliai, atlikti tų dviejų spindulių, bus skirtingi, tai žiūrone F pasirodys interferencijos bruožų. Kadangi tikrenybėje sunku išlyginti du keliai visiškai, tai faktiškai žiūrone visuomet bus interferencijos bruožų. Aprašyta čia aparatūra buvo padėta ant pagrindo iš akmens, o tasai akmuo buvo įmerktas į didelę tynę su gyvsidabriu. Taigi, su pagalba tam tikro mechanizmo galima buvo interferometro pagrindas sukti ir nustatyti taip, kad šviesos spindulys iš ištekliaus S eitų į veidrodį R_1 išilgai žemės orbitos, t. y. su žemės judėjimu, o į veidrodį R_2 statmenai žemės judėjimui. Juk, jeigu eteris nejudomas, žemės judėjimas orbita apie saulę greitumu 30 kilometrų per sekundą, einant relatyvybės principu, yra lygus eterio greitumui 30 kilometrų per sekundą, tik priešinga kryptimi (eterio vėjas), sutikus,

kad žemė nejudoma. Taigi čia visas klausimas buvo del to, ar yra toks eterio vėjas ar ne, nes jeigu yra toksai eterio relatyvis judėjimas, tai šviesos greitumai išilgai žemės judėjimo ir skersai turi būti skirtingi. Sakysime, kad aparatas 358 piešinio nustatytas taip, kad šviesa iš ištekliaus S eina į veidrodį R_1 lygiagrečiai žemės judėjimui ir į veidrodį R_2 skersai tam judėjimui, ir pažymėsime atokumus veidrodžių nuo stiklo plokštelės A raide l ($R_1O = R_2O = l$). Kadangi šviesos greitumas yra c, tai laikas, reikalingas tam, kad šviesa nuvyktų iš plokštelės A į veidrodį R_1 ir atgal, bus $t = \frac{2l}{c}$.

Tai bus tada, kada eteris yra visiškai parimęs, kada jo greitumas lygus nuliui. Bet kalbamuoju atveju eteris turi žemės greitumą v, tik su priešingu ženklu. Taigi kalbamuoju atveju šviesos greitumas iš A į R_1 yra $c + v$, o iš R_1 į A yra $c - v$, nes pirmuoju atveju šviesa skleidžiasi ta pačia prasme kaip bėga žemė, o antruoju atveju prieš žemės judėjimą. Tokiomis sąlygomis laikas, reikalingas šviesos spinduliui nuvykti iš plokštelės A į veidrodį R_1 ir atgal, bus:

$$t_1 = \frac{1}{c+v} + \frac{1}{c-v} = \frac{2lc}{c^2 - v^2} = \frac{2l}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{2l}{c} \cdot \beta^2 \quad (1),$$

sutikus $\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, arba $\beta^2 (c^2 - v^2) = c^2$. Kadangi $v = 30$ kilometrų (žemės greitumas orbita), o $c = 300000$ kilometrų, tai dydis $\frac{v^2}{c^2} = 10^{-8}$ yra labai mažas dydis, ir todel lygtį (1) galima parašyti ir taip: $t_1 = \frac{2l}{c}\left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$.



358 pieš.

Pažiūrėsime dabar, koks laikas reikalingas šviesai nuvykti nuo plokštelės A į veidrodį R_2 ir atgal skersai žemės judėjimo, ir šitą klausimą išsprendžiant, pasinaudosime 358 piešiniu iš dešinės pusės. Čia A reiškia šviesos išteklių, o RR veidrodį. Šviesos išteklius ir veidrodis kietai sujungti ir abudu slenka greitumu v su žeme. Bet šviesos spinduliai iš ištekliaus A eina į veidrodį RR ir atgal linija $AB = l$, skersai žemės judėjimo (aparato judėjimo). Taigi, kada šviesa, išėjusi iš taško A, pasieks veidrodį RR, tai taškas B bus pasislinkęs žemės judėjimo prasme, ir kada atmušta nuo to veidrodžio šviesa grįš į tašką A, tai taškas A per tą laiką užims jau kitą padėtį, būtent A_1, kitaip sakant, šviesos išteklius A pasislinks per atokumą AA_1 žemės judėjimo kryptimi ir žemės greitumu. Todel, tikras optiškas šviesos spindulio kelias bus linija $A B_1 A_1$. Sakysime, $AB_1 = B_1 A_1 = s$ ir $AC = CA_1 = p$. Taigi, per tą laiką, per kurį šviesa atliks kelią 2s greitumu c, šviesos išteklius A atliks kelią 2p greitumu v. Todel $p : s = v : c$, iš to bus $p = \frac{vs}{c}$. Antra vertus, iš trikampio $A B_1 C$ bus $s^2 = l^2 + p^2$, arba pakeitus $p = \frac{vs}{c}$,

bus $s^2 = l^2 + \frac{s^2 v^2}{c^2}$, arba $s^2\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = l^2$, arba $s = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Taigi laikas, reikalingas šviesos spinduliui nuvykti nuo plokštelės A į veidrodį R_2 ir atgal skersai žemės judėjimo, bus: $t_2 = \frac{2s}{c} = \frac{2l}{c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2l}{c} \cdot \beta = \frac{2l}{c}\left(1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}\right)$ (2).

Kadangi nėsant relatyvaus judėjimo eterio ir žemės $t = \frac{2l}{c}$, tai atsižvelgę į lygtis (1) ir (2) mes turime $t_1 > t_2 > t$ ir $t_1 - t_2 = \frac{l}{c} \cdot \frac{v^2}{c^2}$. Aiškus dalykas, kad, aplamai, šitas laikų skirtumas bus nedidelis, nes $\frac{v}{c}$ yra maža trupmena ir $\frac{v^2}{c^2}$ yra mažas antro laipsnio dydis.

Savo matavimuose Michelsonas ir Morley vartojo šviesą tam tikro bangos ilgio λ, kitaip sakant, tam tikro periodo T. Nesunku suvokti, kad išilginio ir skerso spindulių atliktų optiškų kelių skirtumas sudarys tiek bangos ilgių λ, kiek sykių periodas T pareina dydyje $t_1 - t_2$. Jeigu dabar pasuktume visą aparatą kampu 90° (tai yra pasuktume akmens lentą gyvajame sidabre, ant kurios padėtas interferometras), tai pasikeis ženklai, vadinasi, mes gautume dvigubą optiškų kelių skirtumą. Pasukus taip aparatą, visa interferencijos bruožų sistema pasistums (persistums), sakysime, per N bruožų. Tad mes turėsime: $N = \frac{2(t_1 - t_2)}{T} = \frac{2l}{cT} \cdot \frac{v^2}{c^2} = \frac{2l}{\lambda} \cdot \frac{v^2}{c^2}$ (3).

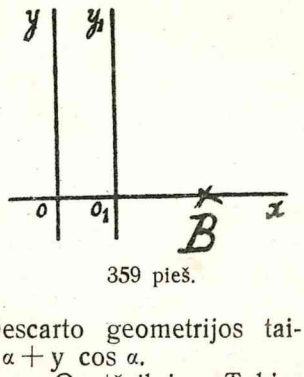
Jau anksčiau mes paminėjome, kad niekuomet negalima visiškai išlyginti spindulių kelių l išilgai tam tikros krypties ir skersai tai krypčiai. Vadinasi, mes visuomet turėsime darbo su interferencija ir matysime interferencijos bruožus žiūrone. Todel, kad galima būtų konstatuoti ieškomas žemės greitumo efektas šviesos greitumui, Michelsono ir Morley'o interferometras pasukamas kampu 90°. Tada tasai efektas turi apsireikšti perstūma visų interferencijos bruožų per tam tikrą skaičių bruožų N.

Viename iš Michelsono ir Morley'o eksperimentų buvo $l = 2200$ cm. ir λ (Na) $= 5_1 9 \cdot 10^{-5}$ cm. Iš lygties (3) tad išeina $N = 0{,}37$. Vadinasi, pasukus interferometrą kampu 90°, visa sistema interferencijos bruožų turėjo persistumti (pasistumti) per 0,37 vieno interferencijos bruožo. Eksperimentas davė tik perstūmą 0,02 vieno interferencijos bruožo. Kadangi gautas dydis buvo jau neišvengiamų klaidų ribose, tai Michelsonas ir Morley iš savo eksperimento padarė išvadą, kad šviesos greitumas visiškai nepareina nuo to, ar tas greitumas matuojamas išilgai žemės judėjimo, ar skersai žemės judėjimo. Šita išvada buvo paremta visa eile panašių eksperimentų tų pačių Michelsono ir Morley'o. Kiek vėliau, būtent, 1904 metais panašiais eksperimentais manėsi prof. Dayton C. Miller ir Morley. Jų eksperimentuose, einant teorija, perstūma bruožų turėjo būti $N = 1{,}5$. Eksperimentas davė tik 0,0076. Vadinasi, nėra jokio relatyvio judėjimo eterio žemės atžvilgiu, nėra „eterio vėjo". Bet tai nesuderinama su eterio nejudingumu lokomocijos atžvilgiu. Antra vertus, sutikus, kad žemė ir kiti slenkantieji kūnai neša su savimi eterį, prieinamà tokių prieštaravimų žinomiems faktams, kad eteris visiškai nustoja reikšmės. Reikia vienok pasakyti, kad didelis fizikas Hertz'as manė, kad eteris slenka su kūnais. Kiti du dideli fizikai Fizeau ir Fresnelis manė, kad slenkantieji kūnai tik dalinai pagauna eterį ir neša jį su savimi, kaip slenkąs skysčiuje kietas kūnas pagauna ir neša su savimi dalį skysčio. O Lorentz'as manė, kaip Faraday'us ir Maxwell'is, kad eteris visiškai nejudomas lokomocijos prasme, ir šitą pažiūrą ir norėjo patikrinti Michelsonas ir Morley savo eksperimentais.

Neigiami Michelsono ir Morley'o eksperimentų vaisiai privertė daug galvoti fizikus. Anglų fizikas Fitz - Gerald'as pirmutinis pareiškė nuomonę, kad fiziniai kūnai susitraukia išilgai judėjimo ir išsiplečia skersai, remdamasis tuo, kad fiziniai kūnai sudaryti iš elektriškai užtaisytų dalelių, priimdamas, vienu žodžiu, elektrinę materijos struktūrą. Slenkant įelektrintoms dalelėms jos susigrūda į krūvą slinkimo prasme ir išsiskleidžia

skersai. Tokiu būdu, sakysime, rutulys virsta elipsoidu su trumpesne ašimi išilgai judėjimo ir ilgesne ašimi skersai judėjimo (Heavisido elipsoidas). Tai yra būtina išvada ir iš Maxwell'io elektromagnetinio lauko teorijos, ir einant šita teorija galima apskaityti, kad toksai slenkančių įelektrintų dalelių susigrūdimas išilgai slinkimo, vadinasi, susitraukimas kūnų išilgai slinkimo, atsitinka santyky $1:\beta$. Čia $\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Toksai susitraukimas gali būti šiek tiek žymus tiktai prie didelių kūno greitumų. Net ir prie tokio greitumo kaip žemės greitumas (30 klm. per sekundą) tasai susitraukimas sudaro vos keletą milimikronų. Vadinasi, prie priprastų mums greitumų tasai susitraukimas praktiškai yra lygus nuliui, Priimant šitą Fitz-Gerald'o kontrakcijos hipotezę, neigiami Michelsono ir Morley'o eksperimento vaisiai darosi visiškai suprantami. Iš tikrųjų, 358 piešiny iš kairės pusės $OR_2 = l$ nesikeičia, nes šitas ilgis slenka skersai žemės judėjimo. Bet ilgis $OR_1 = l$ virsta $l' = \frac{l}{\beta}$. Taigi tokiomis sąlygomis $t_1 = \frac{2l}{c\beta}\beta^2 = \frac{2l}{c}\beta$ ir $t_2 = \frac{2l}{c}\beta$ (žiūr. (2) lygtį). Vadinasi, del susitraukimo slinkimo kryptimi aparato dalių šviesos greitumas yra tas pats ir išilgai žemės judėjimo ir skersai ($t_1 = t_2$). Taigi, mes čia turime darbo su neišvengiamais kompensacijos efektais ir tie efektai anuliuos visuomet šviesos greitumo skirtumus.

Tų pačių išvadų, kaip Fitz-Geraldas, priėjo ir Lorentzas, nagrinėdamas koordinatų transformacijos klausimą, kada sistema įelektrintų dalelių slenka elektromagnetiniam lauke. Priminsime čia trumpai, kas yra koordinatų sistemos transformacija. Jeigu mes turime dvi koordinatų sistemas O ir O_1 nejudomas (žiūr. 359 pieš., del suprastinimo dalyko mes imame dvi koordinatų sistemas, kurių abscisos x sutampa), tai abscisa bet kurio taško B bus x koordinatų sistemoje O ir $x' = x - OO_1 = x - a$ koordinatų sistemoje O_1, o $y' = y$ ir $z^1 = z$. Tai bus perėjimas iš vienos koordinatų sistemos į antrąją, kada pradžia abiejų koordinatų sistemų nesutampa. Bet gali būti toks atsitikimas, kada pradžia abiejų koordinatų sistemų yra tas pats taškas, bet viena koordinatų sistema pasukta antros atžvilgiu tam tikru kampu, sakysime, kampu α. Ir šituo atveju perėjimas iš vienos koordinatų sistemos į antrąją yra paprastas dalykas ir atliekamas einant žinomomis Descarto geometrijos taisyklėmis. Tokiu atveju $x' = x\cos\alpha + y\sin\alpha$ ir $y^1 = -x\sin\alpha + y\cos\alpha$.



359 pieš.

Sakysime dabar, kad sistema O_1 slenka greitumu v sistemos O atžvilgiu. Tokiomis sąlygomis dydis $OO_1 = a$ darosi kintamuoju dydžiu, būtent, $a = vt$ ir todel abscisa taško B koordinatų sistemoje O_1 tokiomis sąlygomis darosi $x^1 = x - vt$, o santykiai koordinatoms y ir z pasilieka tie patys kaip ir anksčiau. Šita koordinatų sistemos transformacija žinoma Newtono transformacijos vardu. Su jos pagalba galima kiekvienu atveju dydžiai, išreikštieji koordinatomis nejudomos sistemos, išreikšti koordinatomis judomos sistemos. Bet, sekant judėjimus, mes turime darbo ne tik su erdvės variacijomis, bet ir su laiko variacijomis, taip pat sprendžiant dinamikos uždavinius. Pavyzdžiui, jėga yra vektorinis dydis ir ji galima pakeisti komponentomis X, Y, Z išilgai trijų pagrindinių koordinatų. Tos komponentos išreiškiamos taip:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = X,\ m\frac{d^2y}{dt^2} = Y;\ m\frac{d^2z}{dt^2} = Z$$

(čia mes visur turime sandaugą masės į greitėjimą, t. y. jėgą). Pereinant iš šitos koordinatų sistemos į kitą, ar judomą ar nejudomą, Newtono transformacija duoda tos pačios formos diferencinių lygčių. Vadinasi, fizikos dėsniai yra tie patys, ar mes sekame fizinius apsireiškimus nejudomoje sistemoje, ar tokioje sistemoje, kuri slenka erdvėje vienodu greitumu ir tiesialiniškai. Tas yra esmė Newtono relatyvybės principo. Bet šitas

Newtono principas remiasi absoliutiniu laiku. Vadinasi, nėra skirtumo tarp laiko nejudomoje sistemoje ir sistemoje, kuri yra pagauta tolygaus tiesialinio judėjimo. Taigi sutikus, kad laikas $t = O$ ir $t^1 = O$, kada abidvi koordinatų sistemos turi savo pradžią tam pačiam taške O, laikai vienai ir antrai sistemai visą laiką bus lygūs, ėmus judėti sistemai O_1 sistemos O atžvilgiu. Tai yra Newtono absoliutinis laikas.

Lorentz'as pastebėjo, kad, atliekant Newtono kordinatų transformaciją įelektrintų dalelių sistemai, kuri slenka elektromagnetiniam lauke, lygčių forma kinta, pereinant iš sistemos O į sistemą O_1. Norėdamas gauti tos pačios formos lygtis Lorentz'as priverstas buvo padaryti du dalykus: 1) priimti Fitz-Gerald'o kontrakcijos hipotezę, kitaip sakant, Newtono lygtį $x^1 = x - vt$ pakeisti lygtimi $x^1 = \beta(x - vt)$; 2) sutikti, kad kiekviena koordinatų sistema turi savo laiką, kitaip sakant kiekvienas stebėtojas turi savo laiką. Tai yra Lorentz'o vietinio laiko koncepcija. Pažymėsime laiką nejudomos sistemos O raidė t ir laiką judomos sistemos O_1 raide t'. Tegu laiku t=O iš koordinatų pradžios O paduodamas šviesos signalas ir tegu tuo laiku stebėtojas B, kuris randasi judomoje koordinatų sistemoje O_1, randasi atokume x nuo koordinatų pradžios. Klausiama, kada šviesos signalas pasieks stebėtoją B. Kol šviesa nuvyks kelią x, koordinatų sistema pasislinks tam tikru atokumu d pirmyn. Taigi stebėtojui, kuris randasi koordinatų pradžioje O, tas laikas bus $t = \frac{x}{c} + \frac{d}{c}$. Bet d yra kelias, kurį atliks sistema O_1 arba stebėtojas B per visą laiką šviesos sklidimo, ligi šviesos signalas pasieks stebėtoją B. Taigi, mes turėsime tokią proporciją $d : x = v : c$, iš jos $d = \frac{vx}{c}$ ir, vadinasi, laikas stebėtojui koordinatų pradžioje O: $t = \frac{x}{c} + \frac{vx}{c^2}$. Bet laikas stebėtojui B judomoje sistemoje O_1 bus $t' = \frac{x}{c}$. Vadinasi, bus mažesnis kaip stebėtojui nejudomoje koordinatų sistemoje. Tai reiškia, kad judomoje koordinatų sistemoje laikrodžiai pasivėluoja sulyginti su laikrodžiais nejudomoje koordinatų sistemoje. Iš tikrųjų, žiūrėdami iš tolo į laikrodį, mes atskaitysime visuomet mažesnį laiką kaip tikrenybėje, nes laikrodžio rodiklis šiek tiek pasistums, kol šviesa pasieks mūsų akį. Taigi, imdami visa tai galvon, mes gausime tokius santykius laikams t ir t', $t = t^1 + \frac{vx}{c^2}$ arba $t^1 = t - \frac{vx}{c^2}$. Įsižiūrėjus į šitą lygtį aišku, kad stebėtojas judomoje sistemoje O_1 matys gal jau galą kokio nors įvykio, kada stebėtojas sistemoje O matys to įvykio pradžią. Teleskope mes galime pamatyti žvaigždės gimimo momentą praslinkus tūkstančiams metų nuo to gimimo.

Duotoji lygtis pereiti nuo laiko vienos sistemos į laiką antros sistemos reikalinga pataisos tais atvejais, kada judoma sistema susideda iš įelektrintų dalelių. Tokiu atveju mes turime $t^1 = \beta\left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$, atsižvelgiant į Fitz-Gerald'o kontrakciją. Taigi, Lorentz'o koordinatų transformacija, pritaikinta elektromagnetiniam laukui, atrodo taip:

$$x' = \beta\left(x - vt\right) \text{ ir } t' = \beta\left(t - \frac{vx}{c^2}\right).$$

Tai yra relatyvio judėjimo lygtis elektromagnetiniam lauke. Vartojant šitas lygtis vis tiek kuri koordinatų sistema arba, kitaip sakant, materialinė sistema bus laikoma judomąja ir kuri — nejudomąja. Esminė šitų lygčių prasmė yra ta, kad stebėtojas, kuris randasi judamoje sistemoje, turi darbo ne tik su kintamais atokumais, bet ir su kintamais laikais. Stebėtojas turi savo vietinį ir fiktyvį laiką ir todel gali ignoruoti savo judėjimą ir laikyti savo tiesioginius matavimus galutiniais.

Visiškai kita išvada iš Michelsono ir Morley'o eksperimento padarė 1905 metais genialus Vokietijos matematikas fizikas Alfredas Einšteinas. Jo nuomone, eterio

hipotezė visiškai nereikalinga fiziniams fenomenams aprašyti ir suprasti, kitaip sakant, jo nuomone, jokio eterio nėra. Erdvė ir laikas yra tik tam tikros mąstymo formos, stebėtojo sukurtos. Kiekvienas stebėtojas, atlikdamas matavimus, turi savo erdvę ir savo laiką. Kitaip sakant, vartoja subjektingus ilgius ir subjektingą laiką. Einšteino nuomone, tasai subjektingas ir vietinis laikas yra realis laikas ir jokio kito laiko nėra. Norint suderinti Michelsono ir Morley'o eksperimento vaisius su teorija ir prieiti Lorentz'o transformacijos taip pat visiškai nereikalinga elektrinė materijos hipotezė. Pakanka priimti šiuos du postulatus: 1) šviesos greitumas yra visuomet tas pats dydis ir nepriklauso nuo stebėtojo būklės ir judėjimo, kitaip sakant, šviesos greitumo pastovumas yra realybė; 2) perėjimas iš pastovios koordinatų sistemos į judomą arba atbulai nesudaro jokių skirtumų stebėjimuose, ir fizikos dėsniai yra tie patys, ar fizikos fenomenai sekami judomoje sistemoje, ar nejudomoje. Eidamas šitais postulatais Einšteinas matematiškos analizės keliu gauna tas pačias transformacijos lygtis kaip ir Lorent'zo transformacijos, apsieidamas be eterio hipotezės ir elektrinės materijos hipotezės, kurios buvo reikalingos Lorentz'ui ir kitiems. O jau iš transformacijos lygčių eina vadinamoji Fitz - Gerald'o kontrakcija, t. y. susitraukimas ilgių judomoje sistemoje ir laikrodžių pasivėlavimas. Tai yra iš esmės Einšteino apribota arba specialinė relatyvybės teorija. Stipri tos teorijos pusė yra ta, kad ji eliminuoja kiek ir kur tik galima hipotezes, operuoja tiktai tiksliai nustatytais faktais ir sukuria labai gražų ir labai apibendrintą matematišką metodą fizikos fenomenams aprašyti ir jiems nagrinėti.

Pasipažinsime dabar su kai kuriomis Einšteino teorijos išdavomis. Visų pirma pažiūrėsime, kaip pareina ilgis ir laikas nuo judėjimo. Padėsime metrą koordinatų sistemoje O_1 (žiūr. 359 pieš.) išilgai x ašies, taip kad metro pradžia sutaptų su tašku, kurio abscisa $x' = O$, o galas su tašku, kurio abscisa $x' = 1$. Kaip atrodys šito metro ilgis stebėtojui iš nejudomos sistemos O? Į šitą klausimą mes gausime atsakymą nustatę, kur bus pradžia ir galas metro atžvilgiu koordinatų sistemos O tos koordinatų sistemos laiku t. Iš lygties (1) Lorentz'o transformacijos seka laikui $t = O$: $x' = O = \beta x$ arba $x = O$ ir $1 = \beta x$ arba $x = \frac{1}{\beta}$. Taigi pradžia metro koordinatų sistemoje O turės abscisą O, o galas metro abscisą $\frac{1}{\beta}$. Vadinasi, skirtumas tarp pradžios ir galo bus $\frac{1}{\beta}$ arba $1 : \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Kadangi $v < c$, tai po šaknies ženklu mes turėsime trupmeną ir, vadinasi, metras, padėtas judomoje sistemoje, žiūrint į jį iš nejudomos sistemos atrodys sutrumpintas. Taigi ilgis, kurį stebėtojas judomoje sistemoje O_1, dalyvaudamas tos sistemos judėjime, laikys metru, atrodys mažesnis kaip metras stebėtojui nejudomoje sistemoje arba nedalyvaujančiam sistemos O_1 judėjime. Aišku, kad metro susitraukimas judomoje sistemoje bus šiek tiek žymus tik tada, kada sistemos greitumas v bus didelis. Kada tas greitumas v nedidelis sulyginti su šviesos greitumu c, tai dydis $1 - \frac{v^2}{c^2}$ labai maža skiriasi nuo vieneto ir todel mes jokio ilgio susitraukimo nepastebėsime. Išėmus elektronus ir ionus, kurių greitumai itin dideli, aplamai, ant žemės mes turime labai mažų greitumų sulyginti su šviesos greitumu, ir todel galime ignoruoti ilgių susitraukimus sekdami judėjimus ant žemės. Jeigu kūno greitumas v pasiektų šviesos greitumą, tai kūno ilgis susitrauktų ligi nulio, ir jeigu kūno greitumas pasidarys didesnis kaip šviesos greitumas, tai mes jau turėtumėm kvadratinę šaknį iš neigiamo skaičiaus, vadinasi, turėtumėm menamąjį dydį. Tai reiškia, kad relatyvybės teorijoje šviesos greitumas c yra didžiausias greitumas, kurio ne tik negali peržengti, bet ir negali pasiekti joks fizinis kūnas. Vadinasi, relatyvybės teorijoje šviesos greitumas yra tikras absoliutas.

Paimsime dabar sekundinį laikrodį ir padėsime jį judamoje koordinatų sistemoje O_1 taške $x^1 = O$. Tegu du mušimai šito laikrodžio iš eilės bus $t^1 = O$ ir $t^1 = 1$. Pažiūrė-

sime, kaip atrodo laikas tarp šitų dviejų mušimų stebėtojui, kuris nedalyvauja judėjime sistemos O_1, kuris, vadinasi, seka laikrodį iš sistemos O. Naudodamiesi (1) ir (2) Larentz'o transformacijos lygtimis, pakeičiant tose lygtyse t^1 iš eilės dydžiais O ir 1 ir $x^1 = O$ turėsime: $O = x - vt$ arba $x = vt$ ir $t - \frac{vx}{c^2} = O = t - \frac{v^2t}{c^2} = t\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$, o iš čia $t = O$. Taip pat $1 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = t - \frac{v^2t}{c^2}$ arba $t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Žiūrint iš sistemos O laikrodis juda greitumu v, ir stebėtojui iš sistemos O atrodo, kad tarp dviejų eilinių laikrodžio mušimų praeina ne sekunda, bet daugiau laiko, nes dydis po šaknies ženklu yra mažesnis už vienetą, ir todel vienetas, padalytas į kvadratinę šaknį iš šito dydžio, yra didesnis už vienetą. Taigi išeina, kad laikrodžiai judomoje sistemoje eina pamažiau kaip parimusioje sistemoje. Mes čia neliesime paradoksų del tokio tiesiklių ir laikrodžių elgesio judomose sistemose, palikdami tuos paradoksus metafizikams. Mums čia svarbu buvo tik parodyti, kad Einšteino teorijoje nėra kietų nekintamų ilgių ir absoliutinio laiko. Taigi nėra ir vienodumo arba tapatybės laiko. Kada stebėtojui, kuris dalyvauja sistemos O_1 judėjime, du įvykiai toje sistemoje įvyksta tuo pačiu laiku, tai stebėtojui iš nejudomos sistemos O tie patys įvykiai įvyksta įvairiais laikais, ir atbulai.

Pažiūrėsime dabar, kaip Einšteino mechanikoje sudedama du vektoriniai dydžiai, sakysime, du greitumai. Paimsime valtį, kuri slenka greitumu u su upės srove ir tegu upės srovės greitumas bus v. Tad einant žinomais mums kinematikos dėsniais sudėtinis arba atstojamasai greitumas yra $v + u$. Einšteino teorija duoda šitam atstojamajam greitumui tokia formulą: $\frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}}$. Šita formula virsta duotąja klasiškos kinematikos formula, kada u ir v labai maži dydžiai sulyginant su c, nes tada $\frac{uv}{c^2}$ yra labai mažas dydis, ir jis galima atmesti sulyginus su vienetu. Taigi, sudėdami judėjimus ant žemės, mes pasiliksime su žinomais mums kinematikos dėsniais. Bet planetos ir dangaus kūnai turi greitumų, apie kuriuos nebegalima pasakyti, kad jie būtų labai maži sulyginti su šviesos greitumu, ir todel sudedant tokius didelius greitumus reikia taikyti Einšteino formula. Ir šita formula rodo, kad negali būti didesnio greitumo kaip šviesos greitumas. Jeigu mes paimsime $u = c$, tai šita formula vis tiek duos mums kaipo atstojamąjį greitumą c. Net ir tuo atveju, kada du kūnai A ir B slenka šviesos greitumu c priešingomis kryptimis, Einšteino formula duos mums šviesos greitumą c. Taigi, iš šitos formulos išeina, kad Michelsono ir Morley'o bandymų efektas turi būti nulis, nes tuose bandymuose mes turime ne sudėtinius greitumus $c + v$ arba $c - v$, bet greitumus $\frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}}$ arba $\frac{c - v}{1 - \frac{cv}{c^2}}$. Ir vienu ir antruoju atveju mes gausime atstojamąjį greitumą c. Vadinasi, šviesa skleidžiasi tuo pačiu greitumu ar su žemės judėjimu ar prieš žemės judėjimą, vienu žodžiu, visiškai nepareina nuo žemės judėjimo.

25 § parodyta, kad einant elektrine materijos teorija kūno inercija arba masė pareina nuo kūno greitumo, būtent, auga didėjant greitumui, einant formula:

$$m_v = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 \beta.$$

Čia m_0 reiškia parimusio kūno masę, o m_v kūno masę, kuri slenka greitumu v. Šita formula išvesta J. Thomsono ir Heaviside'o, žiūrint į inerciją kaipo į saviindukciją slen-

kančios greitumu v sistemos dalelių su elektros įlydžiais. Taigi šita formula sako, kad inercija ir elektromagnetinė saviindukcija yra tas pats dalykas. Iš Einšteino teorijos išeina ta pati formula masei, bet visiškai nepriklausomai nuo to, ar materija sudaryta iš elektros ar kaip kitaip, vadinasi, nepriklausomai nuo bet kurių hipotezių apie materijos struktūrą. Newtono dinamika konstatuoja masės pastovumą. Iš formulos matyti, kad toksai pastovumas atsitinka tik tada, kada kūno greitumas v yra mažas dydis sulyginti su šviesos greitumu c. Bet kada kūno greitumas v auga, tai didėja ir jo masė ir gali pasidaryti be galo didelė, kada kūno greitumas v prisiartins prie šviesos greitumo. Prie priprastų mums greitumų ant žemės veikia Newtono dėsnis, o dangaus kūnams, ionams ir elektronams, kurie turi greitumų žymiai didesnių kaip priprasti mums greitumai ant žemės, veikia Thomsono - Einšteino formula. Taigi, nėra jokio pagrindo tvirtinti, kad Einšteino teorija sugriauna Newtono dinamiką. Ji tik papildo Newtono dinamiką pereinant prie didelių greitumų. Prisiminsime čia dar, kad Heidelbergo fizikas Kaufmanas dar prieš paskelbimą Einšteino teorijos tiesioginiais matavimais patikrino duotąją formulą β - dalelėms arba elektronams, kuriuos išmeta radio preparatai ir kurių greitumas svyruoja tarp 100000 kilometrų per sekundą ir šviesos greitumo.

Santyky su duotąja formula kūno masei, kaip iš Thomsono teorijos, taip ir iš Einšteino teorijos išeina nauja formula kinetinei kūno energijai, kada kūnas slenka greitumu v, būtent:

$$\frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = m_0c^2\beta = m_0c^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} = m_0c^2\left(1+\frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}+\frac{3}{8}\frac{v^4}{c^4}+...\right) = m_0c^2+\frac{1}{2}m_0v^2.$$

(Čia mes išplėtėme binomą skliaustuose ir atmetėme to binomo narius, pradėdami nuo trečiojo, del to, kad tai yra labai maži dydžiai). Taigi, einant Einšteino teorija, kūno kinetinė energija susideda iš dviejų dalių, būtent: iš kinetinės energijos einant Newtono dinamika $\frac{1}{2} m_0 v^2$ kūnui masės m_0, kuris slenka greitumu v, ir dar energijos, kuri yra lygi kūno masei, padauginus į šviesos greitumo kvadratą. Sekdami kūno judėjimus mes turime darbo tik su pirmąja kūno energijos dalimi, būtent, $\frac{1}{2} m_0 v^2$ ir nepastebime kitos dalies $m_0 c^2$, kuri yra nepaprastai didelė ir kuria charakterizuojasi parimęs kūnas. Šita dalis vadinasi immanentinė kūno arba jo masės energija.

Iš to Einšteinas daro labai svarbią išvadą, būtent, kad santykis tarp masės ir energijos yra pastovus dydis ir kad į masę reikia žiūrėti kaipo į energiją. Tegu kūnas masės m_0 slenka greitumu v ir tuo pačiu laiku absorbuoja energiją E_0. Tai bus energijos kiekis stebėtojui, kuris dalyvauja kūno judėjime. O stebėtojui, kuris surištas su nejudoma sistema, tasai energijos kiekis bus $\frac{E_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$. Vadinasi, visa energija kūno, slenkančio greitumu v ir absorbuojančio energiją, bus: $\frac{m_0c^2+E_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\left(m_0+\frac{E_0}{c^2}\right)\cdot c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$. Sulyginant paskutinę formulą su formula kinetinei energijai aišku, kad kūno masė m_0 didėja per $\frac{E_0}{c^2}$, kada kūnas absorbuoja energiją (ir atbulai, kūno masė mažėja per tiek, kada kūnas leidžia energiją). Vadinasi, tarp kūno masės ir jo energijos veikia santykis $m_0 = \frac{E_0}{c^2}$ arba $m_0 c^2 = E$. Tokiu būdu du pagrindiniai fizikos dėsniai, masės išlaikymo

dėsnis ir energijos išlaikymo dėsnis, sutampa vienu dėsniu Einšteino teorijoje, būtent, energijos išlaikymo dėsniu.

Tai yra svarbiausios Einšteino specialinės arba apribotos relatyvybės teorijos išvados; teorija taikoma materialinėms sistemoms, slenkančioms tiesialiniškai vienodu greitumu. Bet Einšteinas nepasitenkino tuo ir išplėtė savo principą materialinėms sistemoms, kurios yra įtakoje greitėjimo, sukurdamas tokiu būdu bendrą relatyvybės teoriją. Šitą darbą Einšteinui žymiai palengvino kitas didelis Vokietijos matematikas Henrichas Minkowskis, kuris išrado tinkamiausią matematišką formą Einšteino idėjoms išreikšti, pakeisdamas du kontinuumus klasikinės mechanikos, erdvę ir laiką, vienu kontinuumu keturių išmatavimų „erdvė - laikas". Šitą kontinuumą Minkowskis pavadino „pasauliu". Padėtis bet kurio taško Euklido trijų išmatavimų erdvėje galima aiškiai apibrėžti trimis koordinatomis x, y, z. Bet kuriam kitam taškui, kuris randasi be galo arti nuo pirmojo, tos koordinatos bus x_1, y_1, z_1. Matematika vadina kontinuumu tokią erdvę, kurios taškams veikia nurodyti čia santykiai. Bet sekant fizikos įvykius į matematiškas formulas įeina dar laikas t. Kadangi kiekvienam laiko momentui yra kitas laiko momentas, kuris be galo mažai skiriasi nuo pirmojo, tai ir laikas yra kontinuumas. Tasai kontinuumas Newtono mechanikoje yra visiškai nepriklausomas nuo erdvės kontinuumo. Newtono erdvė ir laikas yra mūsų prityrimo erdvė ir laikas. Einant Einšteino teorija tai nėra realybės, o tik mąstymo formos. Taip pat žiūri ir Minkowskis. Kaip matyti iš laiko transformacijai formulos

$t^1 = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ laikas yra judėjimo funkcija, taip pat kaip ir atokumai. Norėdamas

suprasti santykius ir išreikšti fizinio pasaulio įvykius ta pačia matematiška forma nepriklausomai nuo to, kurioje sistemoje tie įvykiai sekami, Minkowskis erdvę ir laiką pakeičia vienu kontinuumu „erdvė - laikas" keturių išmatavimų, įvesdamas į Lorentz'o transformacijas vieton laiko t jam proporcingą dydį $\sqrt{-1} \cdot ct = ict$, kitaip sakant, pakeisdamas mums priprastą laiką menamuoju laiku. Kadangi šitame keturių išmatavimų kontinuume vyksta fiziniai įvykiai,tai Minkowskis vadina šitą kontinuumą „pasauliu".

Priimsime bet kuriam fiziniam įvykiui $x = x_1$, $y = x_2$, $z = x_3$ ir $ict = x_4$. Tada šitas fizikos įvykis bus aiškiai apibrėžtas keturiomis koordinatomis. Taip pat ir kitas fizinis įvykis, kuris erdvės ir laiko atžvilgiu atsitinka be galo arti nuo pirmojo, yra apibrėžtas keturiomis koordinatomis x'_1, x'_2, x'_3, x'_4, ir tarp šitų koordinatų mes turime santykį: $x^2_1 + x^2_2 + x^2_3 + x^2_4 = x'^2_1 + x'^2_2 + x'^2_3 + x'^2_4$. Tai yra sąlyga identiškumo Lorentz'o transformacijų vienam ir kitam įvykiui Minkowskio pasaulyje. Taigi, mes dabar turime vietoj Euklido trijų išmatavimų geometriškos erdvės keturių išmatavimų kontinuumą, kuriame koordinata „laikas" niekuo nesiskiria nuo kitų trijų koordinatų. Šita prasme Lorentz'o transformacija reiškia „pasukimą" tam tikru kampu koordinatų sistemos Minkowskio pasaulyje keturių išmatavimų. Nesigilindami į metafiziską interpretaciją šito keturių išmatavimų pasaulio, pažymėsime čia tik, kad priprastame mums trijų išmatavimų pasaulyje fizika yra „vykimas", o Einšteino - Minkowskio pasaulyje fizika yra „buitis". Šitas pasaulis turi didelį panašumą į Euklido trijų išmatavimų erdvę ir formaliai galima į jį žiūrėti kaipo į keturių išmatavimų Euklido erdvę, priėmus ketvirtą menamąją laiko koordinatą. Reikia dar pasakyti, kad Einšteinui ir Minkowskiui labai padėjo tas faktas, kad jiedu jau rado labiau ištobulintą ir apibendrintą abstraktišką geometriją, kaip Euklido geometrija, ruso Lobačevskio, vokiečių Gauso ir Riemano, anglo W. K. Cliford'o ir kitų darbų dėka. Vienu žodžiu, Einšteinas ir Minkowskis rado jau gatavas matematiškas formas, kuriomis galėjo reikšti savo naujas idėjas.

Minkowskio apibendrinimų dėka Einšteinas galėjo sukurti bendrą relatyvybės teoriją, apimančią visas greitėjančias sistemas. Šitą teoriją mes čia paliesime tik labai trumpai, pažymėdami, kad Einšteinas pašalina iš fizikos jėgos koncepciją ir traktuoja judėjimą kaipo erdvės ypatumą, atmesdamas erdvės homogeniškumą ir priimdamas

erdvėje kreivumus ir iškreipimus, suteikdamas, vienu žodžiu, erdvei tam tikrą struktūrą. Tokiomis sąlygomis žemė ir kiti dangaus kūnai slenka erdvėje ne todel, kad tie kūnai stumiami arba varomi kokių nors jėgų, o tik sekdami erdvės kreivumus ir iškreipimus, nelyginant kaip traukinys slenka lanku arba net ratu, sekdamas vėžių užlenkimus. Visais tokiais atvejais, kada kūnas keičia savo judėjimo kryptį arba greitumą, mes priimame jėgos veikimą. Einšteino nuomone, jokios jėgos čia nėra, o yra tik slinkimas kūnų erdvės kreivumais. Taigi aišku, kad Einšteinas iš fizikos daro geometriją, nors jis pats mano, kad jis iš geometrijos daraš fiziką Bet šiaip ar taip, tai yra Aristotelio metodas, pritaikytas fizikai ligi kraštutinumo, be galo tinkąs matematikams. Bet tasai metodas jokiu būdu negali patenkinti fiziko, kuriam svarbu ne tiktai tiksliai ir trumpai aprašyti fizikos fenomenai, bet ir jie suprasti.

Eidamas savo metodu Einšteinas sukūrė gražią gravitacijos lauko teoriją ir padarė kai kurias labai įdomias ir svarbias išvadas. Bet visgi jo būdas, kuriuo jis traktuoja gravitacijos fenomenus, negali patenkinti daugelio fizikų. Paimsime istorišką Newtono obuolį ir jo kritimą ant žemės. Einšteino teorija sako, kad sprendžiant šitą problemą galima manyti, ne obuolys krinta ant žemės, o žemė artinasi prie obuolio. Nekalbant jau apie tai, kad toks traktavimas nepriimtinas sveikam protui, nors ir patogus sprendžiant kai kurias kinematikos problemas, reikia pasakyti, kad energetikos atžvilgiu toksai traktavimas nustoja visiškai prasmės. Be to, krintant obuoliams ant vieno ir ant kito žemės ašigalio, žemė tuo pačiu laiku artinasi ir prie vieno obuolio ir prie antro obuolio. Šitą sunkenybę mato ir pats Einšteinas.

Santyky su savo gravitacijos teorija Einšteinas konstatuoja pastovumą santykio tarp masės ir svorio (traukos jėgos) visokiems greitumams, vadinasi, sutinka, kad traukos jėga keičiasi tam pačiam santyky kaip ir masė, augant greitumui. Rimtų fizikų tarpe yra didelių abejonių del šito tvirtinimo, nes nėra eksperimentų įrodymu šitos išvados svorio atžvilgiu, kaip tai įrodyta masės atžvilgiu.

Kada Einšteinas 1905 metais pirmąsyk paskelbė savo teorijos pagrindus ir kai kurias tos teorijos išvadas, dauguma fizikų priėmė tą teoriją labai šaltai ir net nedraugiškai. Bet atsirado ir tos teorijos entuziastų, kurie manė, kad Einšteinas tarė paskutinį žodį teoretiškos fizikos srityje ir galutinai palaidojo Newtono klasišką dinamiką, o jau diletantų srityje tiesiog buvo kalbama apie didžiausią revoliuciją ne tik fizikos srityje, bet ir, aplamai, žmogaus minties srityje. Kadangi kai kurios išvados, padarytos Einšteino iš savo teorijos, pasitvirtino, tai ilgainiui rimtų fizikų tarpe atsirado karštų šalininkų relatyvybės teorijos, ir šiandien ta teorija užima tokią poziciją teoretiškos fizikos srityje, kad kažin ar pasiseks tos teorijos priešams ji eliminuoti iš fizikos.

Bet visgi Einšteino teorija toli gražu nėra galutinis fizikos žodis. Apie Newtono dinamikos sugriovimą negali būti kalbos. Ta dinamika pasilieka tvirta kaip uola, kol mes turime darbo su greitumais, kurie yra labai maži sulyginti su šviesos greitumu. Einšteino teorija papildo tik ir išplečia Newtono teoriją visais tais atvejais, kada pereinama prie didelių greitumų, kokiais pasižymi dangaus kūnai, elektronai ir ionai. Stipri tos teorijos pusė yra ta, kad ji apsieina su minimumu hipotezių, operuoja tvirtai nustatytais faktais ir, aplamai, sudaro labai elegantišką ir apibendrintą matematišką metodą fizikos fenomenams nagrinėti. Bet kiekviena gryna matematiška teorija, kaip rodo visa fizikos istorija, turi nedidelės heuristiškos vertės, išėmus tik Maxwell'io elektromagnetišką teoriją. Relatyvybės teorijos heuristiška vertė irgi yra nedidelė. Be to, mes pamatysime, kad kai kurie Einšteino numatyti dalykai nėra galutinai patvirtinti. Pagaliau, ji niekuomet nepatenkins fizikų, kuriems rūpi ne tiktai tobulas ir tikslus fenomenų aprašymas, bet ir tų fenomenų supratimas, išaiškinimas painesnių dalykų remiantis žinomais ir gerai suprastais paprasčiausiais fenomenais. Tokiems fizikams, ir visiškai pamatuotai, atrodo, kad daug aiškesnį fizinio pasaulio vaizdą duoda visuotinis eteris tam tikros struktūros kaip Einšteino-Minkowskio keturlypis kontinuumas „erdvė-laikas", heterogeninės struktūros su kreivumais ir susirietimais. Didelis anglų matematikas ir fizikas Juozapas Larmor'as nemato jokio skirtumo tarp Einšteino heterogeninio kontinuumo ir heterogeninės struktūros eterio, užpildančio erdvę, su tempimais ir spau-

dimais tame etere. Larmor'as sako, kad eteristų kalba esanti daug aiškesnė kaip relatyvistų kalba, ir, be to, eteristai operuoją su daugiau apčiuopiamais dalykais, kurie lengviau patikrinti kaip Einšteino teorijos išvados. Todel heuristiška eterio hipotezės vertė yra daug didesnė kaip relatyvybės teorijos. Juk visi tie faktai, kuriais paremta relatyvybės teorija, išėjo iš elektromagnetinės Maxwell'io teorijos, o šita hipotezė labai surišta su eterio hipoteze.

Mes paliesime čia trumpai tas penkias išvadas, kurias Einšteinas padarė iš savo teorijos.

1) Astronomų jau senai buvo konstatuotas slinkimas planetos Merkurijo perihelijo, kuris sudaro apie 41" per šimtmetį. Šito fakto negalėjo išaiškinti Newtono teorija. Einšteinas, remdamasis savo gravitacijos lauko teorija, išaiškino šitą slinkimą. Einšteino apskaitymais tasai Merkurijo perihelijo slinkimas turi būti lygus 43" per šimtmetį. Reikia vienok pasakyti, kad pastaraisiais laikais astronomai duoda šitam slinkimui kitus skaičius, 38" ir net 29", taip kad negalima sakyti, kad šita Einšteino teorijos išvada būtų jau galutinai patvirtinta.

2) Taip pat remdamasis savo gravitacijos lauko teorija Einšteinas padaro išvadas, kad šviesos spindulys, patekęs į gravitacijos lauką, atsilenkia nuo savo tiesialinės eigos. Einšteinas apskaito šito atsilenkimo didumą šviesos spinduliams, kurie eina arti nuo saulės paviršiaus. Taigi, čia kalbama apie tokius spindulius, kuriuos siunčia žvaigždės arti nuo saulės. Tos žvaigždės galima matyti tiktai per saulės užtemimus. Reikia pasakyti, kad Anglijos astronomų ekspedicija, sekdama saulės pilną užtemimą Afrikoje 1919 metų gegužės mėn., konstatavo tokį šviesos spindulių užlenkimą gravitacijos lauke ir tokiu būdu patvirtino Einšteino išvadą. Taip pat šita Einšteino išvada buvo patvirtinta ir vėliau saulės užtemimų metu. Bet ir čia yra ginčų ir kai kurie rimti fizikai ir astronomai tvirtina, kad šitas efektas galima išaiškinti kitomis priežastimis, o ypatingai šviesos refrakcija.

3) Toliau Einšteinas, remdamasis savo gravitacijos teorija, priėjo išvadą, kad saulės spektro linijos turi būti pasistūmusios į raudoną pusę sulyginti su spektrais įvairių šviesos šaltinių ant žemės. Einšteinas net pareiškė, kad jeigu šita jo relatyvybės teorijos išvada nepasitvirtintų, tai visa jo teorija būtų sugriauta. Reikia pasakyti, kad šita išvada yra visiškai patvirtinta. Amerikiečiai St. John ir Evershed patvirtino šitą Einšteino išvadą ne tik del saulės spektro, bet ir del Sirijo spektro. Bet vienas iš relatyvybės teorijos šalininkų ir gabių jos interpretatorių, būtent, Silbersteinas, nurodo tai, kad periodas atomo ant saulės arba ant Sirijo gali skirtis nuo periodo ant žemės, ir duoda įrodymų kaip tik remiantis Einšteino teorija. Taigi, ir šito klausimo negalima laikyti galutinai išspręstu.

4) Dar Michelsonas buvo sumanęs atlikti tokį eksperimentą: sudarius iš vamzdžių didelį daugiakampį, kuris maža skiriasi nuo rato, ir padėjus vamzdžiuose atatinkamose vietose veidrodžius, paleisti tam tikroje šito rato vietoje su pagalba dviejų veidrodžių du šviesos spindulius priešingomis kryptimis, taip kad jie apibėgę ratą grįžtų į tą vietą, iš kurios paleisti. Jeigu pastatytume ant rato du žmones nugaromis, tai bėgant jiems priešingomis kryptimis ir vienodu greitumu jie vėl susitiks toje rato vietoje, iš kurios buvo pradėję bėgti. O jeigu jie bėgs nevienodu greitumu, tai susitikimo vieta bus kita, kitaip sakant, išėjimo vietoje bus fazių skirtumas. Tas pats bus su dviem šviesos spinduliais, nes vienas iš tų spindulių suksis su žeme, o antras prieš žemės sukimąsi apie ašį. Pasivėlavimas vieno iš spindulių antrojo atžvilgiu galima apskaityti. Toksai eksperimentas buvo amerikiečio Gale, Čikagoje, atliktas praeitais metais. Eksperimento išdavos ir apskaitymas sutapo. Reikia vienok pasakyti, kad šitas eksperimentas visai suderinamas kaip su Einšteino relatyvybės principu, taip ir su eterio hipoteze, laikant eterį nejudomu.

5) Einšteino teorija gimė iš Michelsono ir Morley'o eksperimento. Einšteinas atmetė eterio hipotezę ir įrodė, kad Michelsono eksperimento neigiami vaisiai yra būtina išdava relatyvybės teorijos (žiūr. kas anksčiau pasakyta apie sudėtį greitumų relatyvybės teorijoje). 1924 ir 1925 metais Clevelando augštosios mokyklos fizikas prof.

Dayton C. Milleris su ištobulinta aparatūra atkartojo vėl Michelsono ir Morley'o eksperimentą ir atliko visą eilę bandymų iš pradžios Clevelande ant lygumos, o paskui ant kalno Mount Wilson, apie 2000 metrų augščio (ant to kalno randasi žinoma astronominė observatorija). Milleris tvirtina, kad jis gavo šliaužimą žemės etere 10 kilometrų per sekundą. Jis sako, kad šitą efektą galima gerai suprasti sutikus, kad visa saulės sistema slenka relatyviai eterio greitumu, ne mažiau kaip 200 kilometrų per sekundą. Jeigu taip būtų, tai išeina, kad žemė, slinkdama, velka su savimi 95% savo eterio ir tik 5% eterio slenka relatyviai žemės. Milleris turi reputaciją rimto ir bešališko tyrinėtojo, be jokių palinkimų tos ar kitos teorijos naudai. Taigi suprantama, kad paskelbti Millerio rezultatai sukėlė fizikų tarpe, kaip Einšteino teorijos šalininkų, taip ir jos priešų, didelio susidomėjimo. Juk jeigu Millerio rezultatai bus priimti tvirtuoju faktu, tai Einšteino teorija visiškai sugrius. Einšteino šalininkams labai sunku atsisakyti nuo relatyvybės teorijos visų pirma todel, kad dvi būtinos išdavos iš Einšteino teorijos, erdvės kontrakcija ir laiko elongaciją, įgalina transformuoti Maxwell'io lygtis, ir dar todel, kad masės didėjimas, didėjant greitumui, patikrintas bandymais su β - dalelėmis, palaiko suprastintą pasaulio vaizdą, kuriame tada mes turime tik elektriškus fenomenus, kaipo energijos apsireiškimus, keturlypiam kontinuume „erdvė - laikas". Suprantama, kad šitie fizikai daro daug pastangų interpretuodami Millerio rezultatus Einšteino teorijos naudai. Be to, astronomai nurodo, kad jeigu yra žemės šliaužimas relatyviai eterio ant kalno Mount Wilson ir nėra ant jūros paviršiaus, tai negalimas būtų sutapimas astronominių duomenų iš įvairių observatorijų, pastatytų įvairiuose augščiuose viršuj vandenyno lygumos. Bet Milleris netvirtina, kad ant jūros paviršiaus jo efektas yra lygus nuliui. Taigi, čia klausimas dar atviras ir jis galima išspręsti tiktai bandymais. Amerikos fizikai rimtai ruošiasi atkartoti Millerio eksperimentus. Taigi, Millerio eksperimentai eina prieš relatyvybės teoriją. Bet taip pat ir prieš nejudomą eterį, nes tie eksperimentai kaip tiktai konstatuoja ne slinkimą žemės relatyviai eterio, bet šliaužimą. Vadinasi, jie atatinka augščiau paminėtą Fizeau ir Fresnelio nuomonę, kad fiziniai kūnai, slinkdami, dalinai velka su savimi eterį.

Baigdami atkreipsime dėmesį dar į ypatingą reikšmę šviesos greitumo relatyvybės teorijoje. Tai yra tikras absoliutas, kuris įsikiša į visus be išimties fizikos fenomenus, įeina į visas formulas ir lygtis. Tai yra Einšteino teorijos faktas, bet nesuprantamas. Bet jeigu laikytis eterio hipotezės, tai toksai keistas vaidmuo šviesos greitumo darosi visiškai suprantamas. Eteris yra tas mediumas, kuriame vyksta visokie fizikos fenomenai. Pavyzdžiui, kalbant kinematikoje apie judėjimą dviejų kūnų A ir B ir abstrahuojant nuo eterio, sudėtinis tų kūnų greitumas bus $u + v$. Bet kūnai A ir B surišti eteriu ir todel tikrenybėje mes čia turime judėjimą dviejų kūnų mediume ir, vadinasi, negalime ignoruoti to mediumo įtakos judėjimui. Todel sudėtinis greitumas yra išreiškiamas formula $\frac{u+v}{1+\frac{uv}{c^2}}$. Olivero Lodge'o, vieno iš didžiausių eterio entuziastų, nuomone, pasirodymas šitos šviesos konstantos visose formulose, kurios liečia įvairių įvairiausius fizikos fenomenus, yra kaip tik įrodymas didžiausios reikšmės mediumo fiziškiems fenomenams ir to mediumo būtinumo. Atrodo taip, kad Einšteino palaidotas eteris keliasi iš numirusių.

Elektrostatiniai (E. S.) ir elektromagnetiniai (E. M.) elektros vienetai.

Vienetas	Vardas	C. G. S. (cm. gram. sek.)	
		E. M.	E. S.
Srovės	amperas	10^{-1}	3.10^{9}
Elektros kiekio	kulonas	10^{-1}	3.10^{9}
Potencialo, arba elektrovaromosios jėgos	voltas	10^{8}	$\frac{1}{3\times 10^{2}}$
Varžos	omas	10^{9}	$\frac{1}{9\times 10^{11}}$
Talpumo	faradas	10^{-9}	9.10^{11}
Tarpusavės (savi) indukcijos	henry	10^{9}	$\frac{1}{9\times 10^{11}}$

Elektros vienetų išmatavimui.

Vardas	Ženklas	E. S.	E. M.
Elektros kiekis	q	$[L^{3/2} T^{-1} M^{1/2} k^{1/2}]$	$[L^{1/2} M \mu^{-1/2}]$
Magnetizmo kiekis (magnetinė masė)	m	$[L^{1/2} M^{1/2} k^{-1/2}]$	$[L^{1/2} T^{-1} M^{1/2} \mu^{1/2}]$
Magnetinis laukas . . .	H	$[L^{1/2} T^{-2} M^{1/2} k^{1/2}]$	$[L^{-1/2} T^{-1} M^{1/2} \mu^{-1/2}]$
Srovė	J	$[L^{3/2} T^{-2} M^{1/2} k^{1/2}]$	$[L^{1/2} T^{-1} M^{1/2} \mu^{-1/2}]$
Potencialas, arba elektrovaromoji jėga	V E	$[L^{1/2} T^{-1} M^{1/2} k^{-1/2}]$	$[L^{3/2} T^{-2} M^{1/2} \mu^{1/2}]$

Uždaviniai.

Magnetizmas.

1. Reikia apskaityti magnetinis laukas ant ašies atokumuose 25 cm. ir 85 cm. nuo N polio magneto sijos pavidalu 10 cm. ilgio ir polio stiprumo 250.

Atsak. 0,164 ir 0,00583.

2. Geležies viela 40 cm. ilgio ir 0,005 cm.^{2} skerspjūvio padėta išilgai magnetinio lauko stiprumo 0,5. Tos vielos magnetinis momentas tokiomis sąlygomis darosi lygus 2. Reikia apskaityti magnetinimo intensingumas ir vielos magnetinis įspūdingumas.

Atsak. $J = 10$, $k = 20$.

3. Reikia apskaityti stiprumas ir surasti kryptis magnetinio lauko taške, kuris randasi atokume d nuo magneto centro išilgai magneto ašies. Magneto ilgis l ir jo poliai $\pm$ m. Be to, reikia apskaityti, koksai bus efektas šitam laikui, padėjus ant pirmojo magneto tokį pat magnetą, bet skersai (tiesiu kampu).

4. Du magnetai, kiekvienas efektyvaus ilgio 8 cm. ir momento 80, padėti ant tos pačios linijos N poliais vienas prieš antrą. Atokumas tarp polių 6 cm. Reikia apskaityti atsparos jėga tarp magnetų.

Atsak. 0,1437 dinų.

5. Du magnetai, kiekvienas 1 cm. ilgio, padėti ant tos pačios linijos taip, jog atokumas tarp jų centrų yra lygus 10 cm. Magnetų polių stiprumai iš eilės 4 ir 3. Reikia apskaityti jėga, kuri veikia tarp magnetų.

Atsak. 62,6 dinų,

6. Inklinacijos adata, kuri osciliuoja magnetiniam meridiane tokioje žemės vietoje, kur inklinacija yra lygi 60^0, atlieka 35 oscilacijas per minutę. Kitoje žemės vietoje, kur inklinacija yra lygi 45^0, ta pati adata atlieka 40 oscilacijų per minutę. Kaip santykiuoja žemės magnetizmo intensingumai ir gulsčios komponentos šitose dviejose žemės vietose?

Atsak. $35^2 : 40^2 = 1 : 1{,}31$ ir $1 : 1{,}86$.

7. Inklinacijos adata, išimta iš pakaklių ir pakabinta ant siūlo, atlieka 10 pilnų vibracijų per 102 sekundas gulsčioje plotmėje. Jos inercijos momentas 726. Apsunkinus šitą adatą svoriu 0,1 gramų atokume 6,7 cm. nuo jos centro, ji užima gulsčią padėtį savo pakakliuose. Reikia apskaityti remiantis šitais daviniais inklinacija.

Atsak. 67,5^0.

Elektrostatika.

8. Kambario vidury randasi izoliuotas rutulys. Tarp šito rutulio ir sienų pačiam vidury linijos, jungiančios rutulį su siena, padėtas nedidelis teigiamai užtaisytas konduktorius. Reikia nupiešti apytikriai jėgų linijos ir ekvipotencialiniai paviršiai:

1) kada rutulys izoliuotas ir
2) kada rutulys sujungtas su žeme.

9. Rutulys 24 cm. diametro, užtaisytas 15 elektros vienetais, atlenkia elektrometro lapelį 48 padalijimais. Sujungus šitą rutulį ilga viela su antru rutuliu diametro 12 cm., atlenkimas elektrometro darosi lygus 36 padalijimams. Reikia apskaityti elektrometro talpumas.

Atsak. 6 cm.

10. Du tušti konduktoriai turi talpumus 180 ir 40 ir užtaisyti elektra ligi potencialų 30 ir 20. Reikia surasti energijos atmaina, kada antrasai konduktorius bus padėtas vidury pirmojo ir bus kontakte su juo.

Atsak. Nuo 890 ergų ligi 106,5 ergų ir 17,5 ergų.

11. Kondensatorius sudarytas stiklo lapu 2 m/m. storumo, apklojus šitą stiklo lapą iš vienos ir iš antros pusės staniole 30 cm.^{2} ploto. Stiklo dielektrinė konstanta (specifinis indukcijos talpumas) yra lygi 7,5. Reikia apskaityti kondensatoriaus talpumas.

Atsak. 2690 cm.

12. Gutaperčos lapas 0,15 cm. storumo apklotas iš vienos ir iš antros pusės staniole 30×40 cm. ploto. Gutaperčos dielektrinė konstanta 5. Šitas kondensatorius užtaisytas ligi potencialo 10 elektrostatiniais vienetais. Jis sujungiamas su kitu tokiu pat kondensatorium, tiktai storumo 0,45 cm. Reikia apskaityti sistemos energijos nuostolis ergais.

Atsak. 40000 ergų.

13. Oro kondensatorius su plokštimis 10 cm.^{2} ir atokume 0,5 cm. užtaisytas 100 elektrostatiniais vienetais. Kuris bus energijos nuostolis, jeigu šitą kondensatorių įmerktume į alyvą, kurios dielektrinė konstanta yra lygi 2?

Atsak. 157 ergai.

14. Dvi plokštelės atokume 2 cm. viena nuo antros prijungtos prie polių batarejos 60 voltų = 0,2 elektrostatinių potencialo vienetų. Reikia išreikšti elektros laukas ore tarp plokštelių ir apskaityti jėga dinomis per kiekvieną kvadratinį centimetrą, kuria tos plokštelės traukiamos viena prie antros. Be to, reikia parodyti, kaip kinta šitos jėgos, jeigu tarpas tarp plokštelių būtų užpildytas dielektrinės konstantos K skystimo.

Atsak. laukas 0,1; jėga 0,0004 $\frac{\text{dinų}}{\text{cm}^2.}$; laukas tas pats, o mechaniška jėga K sykių didesnė.

Elektrodinamika

Galvanizmas ir Elektromagnetizmas.

15. Reikia apskaityti visa jėga dinomis, kuri veikia vielą 30 cm. ilgio, kada per tą vielą eina srovė 20 amperų ir kada ta viela padėta statmenai magnetiniam laukui 5000 vienetų linijų per 1 cm^2.

Atsak. 300000 dinų.

16. Per telegrafo vielą eina srovė 0,1 amperų į rytus (pagal žemės magnetizmą). Gulsčia žemės magnetizmo komponenta yra lygi 0,18. Viela sveria 1 gramą, skaitant kiekvienam cm. ilgio. Kiek tos vielos svoris bus padidintas arba sumažintas elektromagnetiniu veikimu?

Atsak. 0,0000018 gramais, skaitant kiekvienam cm. ilgio.

17. Viela 30 cm. ilgio varoma per magnetinį lauką 5000 vienetų linijų per cm^2. greitumu 15 cm. per sekundą statmenai magnetiniam laukui ir statmenai vielos ilgiui. Reikia apskaityti indukuota elektrovaromoji jėga (indukuotas potencialų skirtumas tarp vielos galų).

Atsak. 0,0225 voltų.

18. Reikia apskaityti traukos jėga tarp dviejų lygiagrečiai ištiestų vielų 1 metro ilgio atokume 2 cm., kada per jas eina ampero srovė 1.

Atsak. 1 dina.

19. Tiesiakampis keturkampis iš vielos 15 cm. $\times$ 8 cm. pakabintas vertikaliai gulsčiame magnetiniame lauke, kurio stiprumas yra lygus 2,5. Reikia nurodyti jėgos, veikiančios keturkampį iš abiejų pusių, ir apskaityti sukamasis poris, kuris veikia keturkampį, kada jo plokštuma sudaro kampą 45^0 su magnetiniu lauku ir kada per jį teka srovė 200 amperų.

Atsak. $\frac{2\times750}{\sqrt{2}\times4}$ dinų-centimetrų.

20. Telegrafo viela, ištiesta į magnetinius rytus, krinta žemyn. Reikia apskaityti, kokia vidutiniškai bus indukuota elektrovaromoji jėga toje vieloje, skaitant 1 mtr. jos ilgio, ir nurodyti kryptis, kuria tekės per tą vielą indukuota srovė, žinant, kad viela krinta laisvai nuo 5 metrų augščio ir sutinkant, kad žemės greitėjimas toje vietoje g=1000 ir žemės magnetizmo gulsčia komponenta H=0,18.

Atsak. 0,00009 voltų.

21. Garlaivis 1200 cm. ilgio slenka greitumu 80 cm. per sekundą tokioje vandenyno vietoje, kur H=0,2 ir tangens magnetinės inklinacijos lygus 2 (taigi, garlaivis perkerta vertikalines žemės magnetizmo linijas). Reikia apskaityti potencialų skirtumas tarp garlaivio šonų. Koks bus skirtumas, kada medžiaga, iš kurios padirbtas garlaivis, plienas ar medis, arba kada garlaivis apklotas vario lapais? Kaip pareis voltažas, jeigu staiga atsimainys garlaivio slinkimo kryptis? Koksai bus voltažas ant ekvatoriaus?

Atsak. Potencialų skirtumas 0,000384 voltų; nebus skirtumo; nepasikeis; nulis.

22. Kokia srovė amperais sudarys atlenkimą magnetinės adatos 35^0 tangens - galvanometro, kurio žiedo diametras yra lygus 16 cm. ir kurio solenoidas yra sudėtas iš 7 vielos vingių (pavijonių) tokioje vietoje, kur žemės magnetizmo gulsčia komponenta H=0,2.

Atsak. 0,21 amperų.

23. Tangens-galvanometras turi tik vieną vielos vingį (pavijonę) stipino 31,4 cm. Einant per tą pavijonę 10 amperų srovei galvanometro adata atsilenkia kampu 45^0. Reikia apskaityti žemės magnetizmo gulsčia komponenta.

Atsak. H=0,2.

24. Reikia apskaityti elektros varža vario vielos ilgio 91,5 cm., o diametro 0,71 m/m.

Atsak. 0,0385 omų.

25. Reikia apskaityti elektros varža akumulatoriaus, kuris sudėtas iš dviejų plokščių (elektrodų) atokume 0,8 cm. ir ploto 15 cm^2., įmerktų į sieros rūgštį, kurios lyginamoji varža yra lygi 0,14.

Atsak. 0,0005 omų.

26. Trys vielos, varžų 2, 4 ir 6 omai, sujungtos lygiagrečiai ir per jas teka srovė 110 amperų. Reikia apskaityti sujungtų trijų vielų varža ir srovė kiekvienoje vieloje.

Atsak. Varža lygi 1,09 omų; srovės 60, 30 ir 20 amperų.

27. Špulės vielos varža varžos magazine pažymėta 5 omais. Patikrinant surasta, kad varža tos špulės yra lygi 5,033 omų. Koks šuntas reikia prijungti prie tos špulės, kad sudėtinė varža špulės ir šunto pasidarytų lygi 5 omams.

Atsak. 760 omų.

28. Vielos varža 1,03 omų reikia sumažinti ligi 1 omo šuntų. Kokio ilgio reikia paimti manganino viela 0,253 m/m. diametro, kurios lyginamoji varža yra lygi 45 mikroomams (mikroomas yra milijoninė dalis omo) šitam šuntui?

Atsak. 3,81 metrų vielos, varžos 9 omai per metrą.

29. Akumulatoriaus voltažas 2 voltai ir išvidinė varža 0,25 omai. Akumulatoriaus poliai sujungiami vielomis varžų 1 ir 5 omai vienąsyk iš eilės, o antrąsyk lygiagrečiai. Reikia apskaityti srovė vienu ir kitu atveju.

Atsak. 0,32 amperų ir 1,84 amperų.

30. Akumulatorius 2,1 voltų voltažo, sujungtas iš eilės su tangens-galvanometru ir varža 200 omų, duoda atlenkimą galvanometro adatos 45^0. Pridėjus varžą 300 omų atlenkimas darosi lygus 30^0. Reikia surasti galvanometro konstanta (redukcijos veiksnys) ir jo varža.

Atsak. 0,007 ir 100 omų.

31. Du galvaniniai elementai, sujungti iš eilės tam tikra varža, duoda srovę 0,044 amperų. Sujungus tuos du elementus vienas prieš antrą srovė darosi lygi 0,013 amperų. Silpnesnio elemento elektrovaromoji jėga yra lygi 1,08 voltų. Reikia apskaityti elektrovaromoji jėga stipresnio elemento.

Atsak. 1,98 voltų.

32. Kokia srovė amperais prie voltažo 500 voltų perduoda 1000 arklių jėgų ir koksai voltažo kritimas magistralėse, kurių varža yra lygi 0,01 omų?

Atsak. 1492 amperai ir 14,92 voltų.

33. Kaitinimo lemputė iš anglies siūlo prie 0,3 amperų ir voltažo 200 voltų duoda 16 žvakių. Tantalo lemputė prie srovės 0,3 amperų ir voltažo 100 voltų duoda 21 žvakę. Nernsto lempa prie srovės 0,25 amperų ir voltažo 240 voltų duoda 32 žvakes. Kaip santykiuoja energijos, vartojamos 1 žvakei tose lemputėse?

Atsak. 1:2,6:2.

34. Akumulatorių batareja peni 250 kaitinimo lempučių, sujungtų lygiagrečiai. Lemputės varža 300 omų. Voltažas tarp lemputės siūlo galų yra lygus 120 voltų, bet pasikelia ligi 122 voltų, jeigu bus išjungta 100 lempučių. Reikia apskaityti išvidinė

batarejos varža plius magistralių varža ir surasti, kiek watų absorbuoja kiekviena lemputė, kada jos visos įjungtos tarp magistralių?

Atsak. 0,0515 omų; 48 watai.

35. Srovė vario voltametre deponuoja ant katodo 0,85 gramų vario per 25 minutes Varža tinkle yra lygi 2 omams. Voltmetras rodo voltažą 3,5 voltai. Reikia surasti voltmetro klaidą.

Atsak. 0,04 voltų per daug.

36. Keturi galvaniniai elementai voltažo 2 voltai ir išvidinės varžos 0,5 omų sujungti po du lygiagrečiai ir tie du poriai sujungti iš eilės. Šitos batarejos poliai sujungti viela varžos 0,7 omų. Reikia apskaityti srovė.

Atsak. 3,3 amperų.

37. Danielio elementas turi voltažą 1,07 voltų ir išvidinę varžą 2 omai. Jo elektrodai sujungti dviem vielom 3 ir 4 omų varžos lygiagrečiai. Kiek vario deponuos tokiomis sąlygomis Danielio elementas per valandą ir kiek šilimos bus sudaryta pačiam elemente ir kiekvienoje vieloje?

Atsak. 0,335 gramų vario; 138 kalorijos elemente; 50,5 kalorijų vieloje 4 omų ir 68 kalorijos vieloje 3 omų.

Dalykų ir vardų rodyklės.

(Skaitmenimis pažymėti puslapiai.)

Actio in distans 5, 342.
Aitkenas 394.
Aitvaras 122.
Akumulatorius 238—240.
Akumulatorių formavimas 240, 241.
Akumulatorių pirmasai užtaisymas 241—242.
Akumulatorių talpumas ir naudingumas 243.
Alternatoriai 329—336.
Ampère'o taisyklė 148.
Ampère'o staklės 249.
Ampère'o dėsnis 250.
Ampermetrai 251—254.
Ampervingiai 257.
Amplifikacija 379, 380.
Anionai 211, 225.
Anodas 230.
Anodinė aluminijo polarizacija 245.
Anomališkas magnetinimas 361.
Antena 382.
Antriniai elektrolizės produktai 206.
Antriniai elementai (akumulatoriai) 238—240.
Aplinkinės teoremos (pirmoji ir antroji) 355, 358.
Apšvietimas (elektros) 191—192.
Aristotelis 432.
Armatūra 317, 321, 330.
Arrhenius Svante 211.
Astatinis poris 151.
Aston 403.
Atmosferos potencialas 123, 124.
Atmosferos elektros ištekliai 125.
Atominė elektros struktūra 206.
Atomo modelis (Kelvino ir Rutherfordo) 411—412.
Atominiai radiatoriai (oscilatoriai) 371.
Atominiai skaičiai 421—422.
Atomo sudėtis 410—413; 423—425.
Atsparos jėgos tarp indukcijos kintamųjų srovių 332.
Avogadro konstanta 418.

Balistinis galvanometras 165—166.
Balistinis metodas magnetinimo kreivosioms nustatyti 296—298.
Balmerio serija 420.
Barkla 418.
Barlowo ratas 251.
Batarejos (elementų sujungimas) 185—187.
Becquerelis 404.
Bell'is 309—310.
Blagodat 3.
Bolometras 181.
Bohro teorija 426—430.
Bragg'as W. H. 415, 418.
Branly 375.
Buferis-batareja 244—245.
Bunzeno elementas 145.
Busolė 4.

Cavendish (Kavendiš) 48, 201.
Cellenšalteris 244.
Charakteristika dinamo mašinų 324—325.
Chromo rūgšties elementas 146.
Ciklinė būklė (magnetinė) 263—264.
Clark (Klark) 232.
Clausius (Klausius) 209.
Coulomb'as (Kulonas) 7, 48—49.
Crookso (Krukso) tamsus tarpas 387.
Crookso (arba katodo) vamzdis 383.
Curie 404.
Curl'is (verpeto integralas) 353.

Danielio elementas 143—145.
D'Arsonvalio galvanometras 163—164.
Davy 201, 283—284.
Debye 219—220.
Deklinacija 21.
Demagnetinimas 263—264.
Demokritas 432.
Depolarizatoriai 143.
Deprez 330.
Dezintegracijos teorija 409.
Diamagnetiniai kūnai 13, 269.
Dielektrikas 56, 94—95.
Dielektrinė konstanta 89, 103—104, 112—113, 351—352.
Dielektrinė polarizacija 56, 96—98.
Dinamo nuolatinės srovės 322—327.
Dirbtinis magnetas 3.
Disociacija (elektrolitinė) 209, 211.
Divergencija 354.
Dolezalek 239.
Dolyvo-Dobrovolsky 337.
Dualistinė hipotezė 41.
Dufay 36.
Duplex-sistemos (telegrafo) 279—280.
Dviejų laidininkų sistema (apšvietimui) 192.
Dvifazinė srovė 333—336.
Dvifazinis variklis 337—338.
Dvigubas elektrostatinis sluogsnis 224.

Edisonas 310.
Efektyvi elektrovaromoji jėga ir srovė 331.
Einšteinas 438.
Ekstra srovės 291, 300.
Ekvivalentas (elektrocheminis) 202.
Elektrodinamika 133.
Elektriško elastingumo modulis 343—434.
Elektroforas 76—78.
Elektrolitas 204.
Elektrolitinės disociacijos teorija 212—213.
Elektrolizė 204, 246—247.
Elektriškasai momentas 102—103.
Elektromagnetas 272—274.

Elektromagnetinės bangos 344, 362—364, 370.
Elektromagnetinė indukcija 366—367.
Elektromagnetinė masė 397—398.
Elektromagnetinė šviesos teorija 352, 359—360.
Elektromagnetinio lauko modelis 345—349.
Elektrometalurgija 196.
Elektrometrai 105.
Elektronas 392 - 398.
Elektros kiekis 44—47.
Elektroskopas 36—40.
Elektros krosnys 194—195.
Elektros malūnas 76.
Elektros mašina (trynimo) 73—75.
Elektros skambutis 275 - 276.
Elektros širdis 233.
Elektrostatinė indukcija 101—102.
Elektrostatinis jėgų laukas 52.
Elektrostatiškas voltmetras 110.
Elektros variklis 327—329.
Elektros vienetai 349—350.
Elektrostrikcija 118.
Emanacijos 407.
Energija kintamosios srovės 332.
Energijos perdavimas 327, 329.
Erdvinis kristalo tinklelis 417.
Eteris 433.
Eureka 178.
Ewing'as 263.
Ewing'o magnetizmo hipotezė 267—268.
Ewing'o metodas magnetinimo kreivosioms nustatyti 269 — 271.

Faraday'us 10, 43, 54, 201, 283, 284, 357, 361, 387, 433.
Faradas 71.
Fazės kintamosios srovės ir indukuotos elektrovaromosios jėgos 302—303, 332.
Feddersenas 114, 369.
Feromagnetiniai kūnai 13, 262 — 263, 269.
Ferranti 337.
Fitz-Gerald'as 362, 436.
Flemingas 353, 376.
Flemingo taisyklė 247, 288.
Foucault'o srovės 293 — 294.
Franklinas 31, 129, 130, 133.
Franklino lenta 88.
Friedrich'as 415.

Galvani 134, 137.
Galvaninė batareja 138.
Galvaninis elementas 136.
Galvaninio elemento teorija (chemiška) 140—144
Galvanomagnetinis efektas 200 — 201.
Galvanometras (tangens, sinus ir cosinus) 157 — 159 ir 160 — 161.
Galvanometro jautrumas ir tikrumas 165.
Galvanometro konstanta (dinaminė) 165.
Galvanometro slopinimas 294.
Galvanoplastika ir galvanotipija 245 — 246.
Galvanoskopas 147 — 148.
Gausas 276, 15, 27.
Gauso teorema 59 — 64, 357.
Geislerio vamzdžiai 387 — 388.
Generatoriai (elektros energijos) 321, 335, 336, 340.
Ghosh (elektrolitinė dissociacija) 219 — 220.
Gibbs 330.
Goulard 330.
Gramo magneto-elektrinė mašina 319.
Grammo žiedas 317.
Great Eastern 282.
Griaustinis 127 — 128.
Grove elementas 145.
Gulsčia komponenta 8, 9.

Halske 323.
Hartmano-Brauno ampermetras 252 — 253.
Heaviside 440.
Hefner-Altenecko būgnas (cilindrinė armatūra) 320.
Helmholtz'as 126, 228 — 229, 353.
Helmholtz'o-Gibbso lygtis 220 — 223.
Henley'o iškroviklis 117 — 118.
Henry (Juozapas) 276, 361, 365.
Hertz'as Heinrichas 365 — 368, 369.
Histerezis 263.
Hittorfas 212 — 214.
Hopkinson 262.
Homogeniniai X-spinduliai 419.
Hughes 310 — 311.

Impedansas 131, 305 — 307.
Impulsyvis išlydis 362.
Indukcija 37.
Indukcija (magnetinė) 258.
Indukcija (elektromagnetinė) 284 — 288.
Indukcijos elektrovaromosios jėgos formula 289—290, 321 — 322, 315 — 316.
Indukcijos (tarpusavės) koeficientas 290.
Induktorius 287.
Inercija (elektromagnetinė) 307.
Inklinacija 21.
Intensingumas (magnetinis) 257.
Ionai 204.
Ionizacijos tensija (metalų) 224, 229.
Ionų greitumas 215.
Ionų transporto skaičius 213 — 214.
Iškroviklis 83.
Išlydis kibirkštimis 385 — 386.
Išlydis praskiestose dujose 386.
Išlydžio energija 92 — 94.
Išlydžio greitumas laidininkuose 117.
Izolatoriai 35, 44.
Izotopai 404.

Įlydis 43, 44.
Įspūdingumas (magnetinis) 257.
Įtempimas (elektriškas) 55 — 58, 97, 98, 65, 66.
Įtempimo vamzdeliai 65, 66.

Jėgų linijų skaičius 12, 63, 64, 65.
Jėgų linijos 53, 58.
Jėgų sriautas 66.
Jėgų vamzdeliai 61 — 64, 65.
Joulio (Džaulio) dėsnis 187 — 188.
Judėjimas absoliutinis 434 — 435.
Jungas (elektromagneto) 323.
Jūrininkų kompasas 31 — 34.

Kabelis 280 — 281.
Kaitinimo lemputės 190 — 191.
Kamerlingh-Onnes 268.
Karščio ampermetras 253—254.
Kationai 211, 225.
Katodas 230.
Katodo spinduliai 387.
Kaufmano bandymai 397—398.
Kelvinas (lordas) 31.
Kelvino mašina 78—79.
Kibirkštys 114—116.

Kibirkšties chemiški veikimai 120—121.
Kibirkšties įtempimas 119—120.
Kintamosios srovės dinamomašinos 329—336.
Kirchhoffo dėsniai 170—172.
Kniepping 414.
Koercijos jėga 262.
Kohereris 375—376.
Kohlrauschas 349.
Kohlrauscho dėsnis 211.
Kolektorius (komutatorius) 316—317, 320.
Kompasas 4.
Komdensacijos metodas 183.
Komutatorius 159—160.
Koncentracijos elementas 225—228.
Konpensatoriaus talpumas 85—86.
Kondensatoriaus išlydis 283—284, 303—304.
Kondensatorius 82—83.
Konduktorius 44.
Kontakto elektra 134.
Kontrakcijos hipotezė 437.
Koordinatų transformacija Newtono ir Lorentzo 437—438.
Korpuskulos 393—393.
Kristaliniai detektoriai 376.
Kristalų struktūra 413.
Kurcšlusas (trumpas sujungimas) 241.
Kvadrantiška klaida 33,
Kvadrantų elektrometras (Kelvino) 106—110.

Lagrange'o principas 226—228.
Laidininkai 35, 44.
Laidumas elektrolitų 211, 216—217.
Lanko lempos 193.
Laplace'o dėsnis 151.
Laplace'o lygtis 354.
Larmor 443.
Laue 414.
Lauko stiprumas 53.
Lauko magnetai (induktoriai) 317, 330.
Le-Blanc (akumulatoriaus teorija) 242.
Le-Chatelier pirometras 198.
Leclanché elementas 146.
Leydeno bonkų batareja 90—92.
Leydeno bonka 83—84.
Leydeno bonkos išlydis oscilacijomis 361.
Lenardas 388.
Lenzo dėsnis 285.
Lichtenbergo figūros 119.
Liebenow (akumulatoriaus teorija) 242.
Likučių išlydis (efektas) 98—101.
Lippmano kapilarinis elektrometras 234—236.
Lymano serija 419.
Lodge Oliver 125—126, 131, 132, 216, 365—366, 445.
Lorentzo formula masei 397.
Lorentzo teorija (Zeemano efektas) 372—373.
Lorentzo vietinis laikas 438.

Magazinas (varžos) 178.
Magnetinė energija (magnetinimo energija) 264—266.
Magnetinė varža 259.
Magnetinė indukcija 5, 11.
Magnetinės variacijos 24 - 27.
Magnetiniai žemėlapiai 24—27.
Magnetinis potencialas 27—29.
Magnetinis jėgų laukas 9, 10, 11.
Magnetinio lauko stiprumas 12, 14, 15, 16.
Magnetinis įspūdingumas 13.
Magnetinis pralaidumas 12—13.
Magnetinis laukas: 1) srovės rato 152.
2) cilindrinio solenoido 154.
3) tiesialinio laidininko 155.
Magnetinis momentas 9.
Magnetinimo ciklas 262—264.
Magnetinimo kreivosios (JH ir BH) 261—262.
Magnetinio sriauto atmaina 288.
Magnetitas 3.
Magnetizmo likučiai 257, 261, 262.
Magnetizmo vienetas 8.
Magnetizmo hipotezė (Ampère'o-Weberio) 266—267
Magneto-elektrinės mašinos 314—316.
Magnetometras 17, 18, 19.
Magneto-motorinė jėga 259.
Magnetonas 268—269.
Magnezija 3.
Magnitnaja 3.
Manganinas 178.
Marcel 330.
Marconi 375.
Materijos vienybė 398—399.
Masių spektrografas 402.
Maxwell (Clerk) 65, 132, 353—360, 343.
Maxwell'io taisyklė 148.
Maxwell'io trys pirmosios elektromagnetinio lauko lygtys 357.
Maxwell'io antrosios trys lygtys 359.
Mėginimo (bandymo) rutuliukas 41.
Michelson 434.
Mikrofaradas 71.
Mikrofonas 310—311.
Milliampermetras (Voltmetras) 254.
Millikano bandymai 396—397.
Minkowskio „pasaulis" 442—443.
Molekulinis laidumas 218—219.
Morley 434.
Morses raktukas 276—277.
Moseley, Henry-Gwynn 420—424.
Moseley'o dėsnis 422—425.
Multiplikatorius 150.

Naudingumo koeficientas (dinamomašinų) 326—327.
Nernsto osmotinė teorija (galvaninio elemento) 223—228.
Neumanas 369.
Neumano lygtis 358.
New-Foundland 282.
Normaliniai elementai 232.
Normalinis elektrodas 230.

Oersted 147.
Ohmo dėsnis 167 - 169.
Oscilacijos (elektros) 115—116, 361—368, 369.
Oscilacijų dažnumas 305.
Oscilacijų tinklas (uždarytas ir atdaras) 364—365.
Osmotinis spaudimas 210.

Padavimo (elektromagn. bangų) stotis 383—384.
Pakeliamoji jėga (magneto) 273.
Paramagnetiniai kūnai 13, 269.
Pascheno serija 420.
Paviršiaus integralas normališkosios magnetinės indukcijos 358.
Peltier'o efektas 199.
Perkūnijos debesis ir jo energija 126.
Perkūnlaidis 129—133.
Permanentiniai magnetai 5.
Permanentinis magnetizmas 263.
Perstūma (elektriška) 55—58.

Perstūmos srovė 343, 344.
Piezoelektra 118.
Pirminiai elektrolizės produktai 206.
Piroelektra 118.
Plancko kvantų teorija 426–427.
Plante 240.
Platinavimas (elektrodų) 218.
Polarizacijos plokštumos sukimas magnetiniam lauke 343.
Polarizacija (galvaninė) 142—143, 233—240.
Polifazinės srovės 333—336.
Potencialas 67—70, 27—29.
Potencialas (metalų) 230—231.
Potencialo lygmės (ekvipotencialiniai paviršiai) 67.
Potenciometras 184.
Povandeninis telegrafas 280—283.
Pralaidumas (magnetinis) 258.
Priėmėjas (elektromagnetinių bangų) 383.
Prigimties magnetai 3.
Prouto hipotezė 404.
Pusratinė klaida 32—33.

Radiatorius 369.
Radioaktingumas 404–412.
Radiotelefonas 380—384.
Radiotelegrafas 374—380.
Radius 404.
Rayleigh 125, 305.
Ramsay'us 407.
Raault'o (Raulio) tyrinėjimai 210.
Rašomasai aparatas (Morze) 278.
Relais (telegrafas) 277—278.
Relatyvybės principas 432—445.
Relatyvybės teorija 438—445.
Röntgenas (Röntgen) 389.
Reostatas 179—180.
Retentyviškumas 262.
Rezonansas (elektriškas) 305.
Rezonatoriai (Hertzo) 368.
Riess 37.
Rydbergo formulą 419.
Rowlandas 351.
Rozette 32.
Rumkorfo induktorius 299—302.
Rutherfordas 404, 408.

Sadler 419.
Saugikliai 193.
Sausas elementas 146.
Suviindukcijos koeficientas 291–293.
Saviindukcijos priedinė varža 293.
Seebeck'as 135.
Siemenso (Wernerio) dinamo principas 322—327.
Siemenso elektrodinamometras 255.
Sifonas - rekorderis (galvanometras) 281—282.
Sinchroniniai varikliai 337.
Symmeris 41.
Skalarai 353—354.
Slopinimas (galvanometro) 162—163.
Slopinimas (oscilacijų) 116.
Smailgalio veikimas 71–72, 123.
Soddy 403, 408.
Solenoidas 150.
Solenoido magnetinis momentas 248.
Soti srovė 386.
Southampton 282.
Spindulių materija 388.
Sriautas (magnetinis) 258—259.
Stelažas 241.
Stygos galvanometras 166.
Stokeso teorema 352—355.
Sukamasai magnetinis laukas 338–339.
Sulfatacija 242.
Suporinimas (termioniškų lempų) 382.
Swinburn 268.

Šepečių reguliavimas 318–319.
Šildymas (elektriškas) 194.
Šuntas 182.
Šuntavimas 173.
Šusteris (Schuster) 31.

Tait'as 197.
Tayloro teorema 356.
Talpumas 70–71, 110–112.
Tangens - galvanometras 157—159.
Tarpusavis srovių veikimas 249–250.
Telefonas 309—310.
Telegrafas (elektromagnetinis) 276—280.
Termobatareja 198.
Termomagnetinis efektas 200–201.
Termometras (varžos) 180.
Termosrovė 135, 196.
Tesla 337.
Tesla transformatorius 308.
Thales 34.
Thompsonas Silvanus 331.
Thomsonas Elihu 333.
Thomsonas Williamas 281, 304.
Thomsonas J. 392.
Thomsono (Williamo) astatinis galvanometras 161—162.
Thomsono efektas 199–200.
Thomsono W. Leydeno bonkos išlydžio teorija 361–362.
Thomsono teigiamų spindulių analizė 399–400.
Tikra (visa) srovė 356—357.
Tolydinės bangos (elektromagnetinės) 381—382.
Transatlantic Cable Company 282.
Transformatorius 286, 330, 331, 340—341.
Trielektrodinis plautelis 378, 379.
Trijų laidininkų sistema (apšvietimui) 193.
Trifazinė srovė 333–336.
Trifazinės srovės variklis 338–339.
Tudor 240.

Umformeris (Konverteris) 331, 339–340.
Unitarinė hipotezė 41.

Valencija 282.
Van't Hoff 210.
Vario rafinavimas 247.
Varžos standartas 177.
Varžos špulės, laisvos nuo indukcijos 177—178, 292.
Varžos vienetas 169.
Vektoriai 353—354.
Vektoriaus potencialas 354.
Vertikalė komponenta 8, 9.
Vibratoriai (Hertzo radiatoriai) 368.
Vienetas srovės (elektromagnetinis ir elektrostatinis) 153—154.
Vienfazinė srovė 333—336.
Volta 134, 135, 136, 137.
Voltmetras 207—208, 254.
Voltas 71.
Voltos lankas 189—190.

Voltos lanko automatiškas reguliavimas 273—274.
Voltos stulpas 139.

Wagnerio plaktukas (Neofo) 274—275.
Wattmetrai (elektros skaitikliai) 255—256.
Weberis 276, 349.
Wehnelto pertraukėjas 301—302.
Weiss 268.
Weston 232—233.
Westono ampermetras 251—252.
Wheatstone'o tiltas 173—176.
Wheatstone 114, 117.
Wilsono bandymai 394—395.
Wimshurst'o (Vimšersto) mašina 79—81.

Zamboni stulpas 140.
Zeebecko efektas 196.
Zeemano efektas 371—373.

Žaibas 122.
Žaibo atatranka 129.
Žaibo oscilacijos 131.
Žaibų rūšys 127.
Žaibų veikimai (mechaniški, termiški ir chemiški 128.
Žemės induktorius 294—296
Žemės magnetizmas 4, 8, 9.
Žemės magnetizmo teorija (Gauso) 29—31.
Žiogrelis 378—384.
Žemės srovės 282—283.

X-spinduliai 389—392, 413—414, 415.
X-spindulių spektras 417—418.
X-linijų dažnumas 421—422.

TURINYS.

Magnetizmas.

1 §. Prigimtieji ir dirbtiniai magnetai. Magnetų poliai (ašigaliai). Magnetinė busolė, arba kompasas. Magnetinės jėgos ir magnetinis momentas. Magnetinė indukcija. Magnetinimas. Molekulinė magnetizmo teorija. Coulombo dėsnis. Magnetinės masės vienetas. Magnetinis spektras ir magnetinių jėgų laukas. Magnetinimo intensingumas. Magnetinis įspūdingumas ir pralaidumas. Paramagnetiniai ir diamagnetiniai kūnai. Magnetinio lauko stiprumas. Gauso metodas magnetinio lauko stiprumui matuoti. Geometriškoji magnetinio lauko konstrukcija. 3

2 §. Žemės magnetizmo elementai: deklinacija, inklinacija ir intensingumas. Dieninės, metinės ir šimtmetinės žemės magnetizmo elementų variacijos. Magnetiniai žemėlapiai. Magnetinis potencialas. Gauso žemės magnetizmo teorija. Jūrininkų kompasas. 21

Elektrostatika.

3 §. Elektrinimas trynimu. Įelektrinami ir neįelektrinami kūnai. Laidininkai ir nelaidininkai (izolatoriai). Dviejų rūšių elektra. Traukos ir atsparos jėgos. Elektroskopas. Elektrostatinė indukcija ir jos dėsniai. Abiejų rūšių elektros kiekių lygybė elektrinant kūnus. Elektros susitaupymas ant laidininkų paviršiaus. Elektros kiekio matavimas sauvališku elektros vienetu. 34

4 §. Cavendišo įrodymas elektros jėgų atvirkščio proporcingumo kvadratui atstumo. Coulombo dėsnis ir Coulombo sukimo svarstyklės. Elektrostatinis elektros kiekio vienetas. Kai kurios išvados iš Coulombo dėsnio. Elektrostatinis jėgų laukas ir to lauko stiprumas. Mediumo reikšmė. Elektriškasai įtempimas. 48

5 §. Gauso teorema. Jėgų linijos ir jėgų vamzdžiai. Jėgų sriautas. Lauko stiprumo išreiškimas jėgų linijomis. Elektros potencialas. Lygmės paviršiai. Elektros talpumas. Elektros kiekio, potencialo ir talpumo vienetai. . . . 59

6 §. Įlydžio padalijimas ant laidininko paviršiaus. Smailgalio veikimas. Metodas gauti didesniems elektros kiekiams. Trynimo elektros mašinos. Elektros išlydis kibirkšties pavidalu. Keletas bandymų su elektros mašina. Indukcijos mašinos. Elektroforas. Vandens lašų mašina (lordo Kelvino). Wimshursto mašina. 71

7 §. Kondensatorius. Leydeno bonka. Kondensatoriaus talpumas. Dielektriko reikšmė. Ilydžio energija. Traukos jėga tarp kondensatoriaus plokštelių ir potencinė 1 cm^3 energija dielektrike. Elektriškasai modulis. Dielektrinė polarizacija. Likučių išlydymas. Faraday'aus-Maxwellio teorija. Elektros lauko stiprumas ir elektrostatinė indukcija. Elektriškasai dielektriko momentas. Elektrifikacijos konstanta ir dielektrinė konstanta. Dielektriko dubletų teorija. Santykis tarp lūžimo koeficiento ir dielektrinės konstantos. . . 82

8 §. Elektros potencialų matavimai. Thomsono kvadrantų elektrometras. Talpumo ir dielektrinės konstantos matavimai. 105

9 §. Kibirkštis. Jos tęsinys (išlydžio tęsinys). Kibirkšties periodiškumas. Elektros oscilacijos. Elektros išlydžio sklidimo greitumas. Išlydžio energija. Kibirkšties šviesa. Šviesos spurgai ir rusėjimo šviesa. Lichtenbergo figūros. Lullino bandymas. Chemiški kibirkšties veikimai. 114

10 §. Žaibas. Atmosferos elektros ištekliai. Atmosferos potencialo matavimas. Perkūnijos debesis ir jo energija. Perkūnlaidis. 122

Elektrodinamika.

11 §. Galvani'o pastebėjimai (1780). Voltos bandymai. Kontakto elektra ir jos dėsniai. Voltos arba Galvani'o elementas. Voltos stulpas. Elektroskopas su stulpu. Galvaninė srovė. Galvaninio elemento elektros energijos išteklius. Galvaninė batareja. Galvaninė polarizacija. Depolarizatoriai. Pastovūs galvaniniai elementai. 133

12 §. Oerstedo pastebėjimas (1820). Galvanoskopas. Srovės magnetinis laukas. Tarpusavis veikimas srovės ir magneto. Magnetinės linijos rato ir solenoido. Multiplikatorius arba galvanometras. Srovės sudaryto magnetinio lauko stiprumas. Biot - Savarto dėsnis. Laplace'o elementarinis elektrodinamikos dėsnis. Absoliutinis elektromagnetinis elektros kiekio vienetas. Magnetinis laukas ant ašies srovės rato ir ant ašies solenoido. Magnetinis laukas srovės tinklo, sudaryto tiesialiniais laidininkais. Tangens - busolė. Astatinis W. Thomsono galvanometras. D' Arsonvalio galvanometras. Balistinis galvanometras. 147

13 §. Ohmo dėsnis. Elektros varžos vienetas. Lyginamoji varža. Kirchhoffo dėsniai. Wheatstone'o tiltas. Elektros varžos matavimas. Varžos standartai ir varžos magazinai. Reostatai. Elektriškas varžos termometras ir bolometras. Galvanometro šuntavimas. Elektrovaromųjų jėgų sulyginimas. Kompensacijos metodas elektrovaromajai jėgai matuoti. Įvairūs būdai jungti galvaniniams elementams sudarant batarejas. 167

14 §. Elektros srovės energija. Termiški srovės efektai. Joulio dėsnis. Voltos lankas (elektros lankas). Elektros šviesa. Kaitinimo lemputės ir lanko lempos. Elektriškas šildymas ir kaitinimas. Elektros krosnys. Elektrometalurgija. Termoelementai. Pirometras Le - Chatelier. Peltier'o ir Thomsono efektai. Termomagnetinis ir galvanomagnetinis efektai . . . 187

15 §. Chemiški elektros srovės veikimai. Elektrolizė. Faraday'aus dėsniai. Ionai. Voltmetrai. Elektrolitinė disociacija. Elektrolitų elektros laidumas ir jo matavimas. Ionų transporto skaičiai ir jų absoliutinis greitumas. 201

16 §. Galvaninio elemento termodinaminė ir osmotinė teorijos. Galvaninės polarizacijos teorija. Lippmano kapilarinis elektrometras. Antriniai elementai. Akumulatorius, jo teorija ir reikšmė. Elektrolizės pritaikymai. Galvanotipija ir galvanoplastika. Elektrochemija ir jos reikšmė technikai. 220

17 §. Elektrodinamika ir elektromagnetizmas. Tarpusaviai veikimai magnetinio lauko ir elektros srovės. Solenoido magnetinis momentas. Veikimai tarp dviejų elektros srovių, arba elektrodinaminiai veikimai. Ampermetrai, voltmetrai ir wattmetrai. 247

18 §. Magnetinimas. Megnetinimo intensingumas. Magnetinė indukcija. Magnetinis įspūdingumas ir magnetinis pralaidumas. Magnetis sriautas ir Ohmo dėsnis. Magnetinimo ir demagnetinimo kreivosios. Koercijos ir retensijos jėgos. Histerezis. Ciklinė būklė. Energijos išsklaidymas del histerezio. Ewingo molekulinė magnetizmo teorija. Elektromagnetai ir jų pakeliamoji jėga. 257

19 §. Elektromagnetizmo pritaikymai. Automatiškai reguliuojama lanko lempa. Elektromagnetinis pertraukėjas. Elektros skambutis. Elektromagnetinis telegrafas ant sausumos ir povandeninis 173

20 §. Mykolas Faraday'us. Elektromagnetinė indukcija. Lenzo dėsnis. Flemingo taisyklė. Tarpusavė indukcija. Tarpusavės indukcijos koeficientas. Saviindukcija. Ekstra srovės. Saviindukcijos koeficientas. Foucault'o arba verpetų srovės. Galvanometro slopinimas. Žemės induktorius. Balistinis metodas magnetiniam geležinio žiedo pralaidumui matuoti 283

21 §. Rumkorfo induktorius. Kondensatoriaus išlydis. Kintamoji srovė didelio dažnumo. Impedansas. Teslos transformatorius. Telefonas ir mikrofonas. 298

22 §. Įvairūs būdai sužadinti indukcijos srovėms. Kintamosios ir nuolatinės srovės magneto elektrinės mašinos. Komutatorius. Armatūra ir lauko magnetai. Grammo žiedas. Hefner - Alteneko cilinderis, arba būgnas. Dinamo principas. Dinamo mašinų nuolatinės srovės tipai. Nuolatinės srovės elektros varikliai (motorai). Kintamosios srovės ypatumai. Kintamosios srovės dinamo mašinos (alternatoriai) ir varikliai. Sukamasis magnetinis laukas ir sukamoji srovė. Transformatoriai ir elektros energijos perdavimas atokumui. 313

23 §. Reikšmė mediumo elektromagnetinei indukcijai. Faraday'aus spėjimai del santykių tarp elektromagnetinių ir šviesos fenomenų. James Clerk'o Maxwell'io matematinė elektromagnetinio lauko teorija. Srovė dielektrike kaipo elektriškos perstūmos atmaina. Maxwell'io eterio modelis. Santykis elektrostatinių ir elektromagnetinių elektros vienetų ir šviesos greitumas. Weber'io ir Rowland'o darbai. Dielektrinė konstanta ir lūžimo koeficientas ilgų bangų. Taikymas hidrodinaminių lygčių elektromagnetiniam laukui. Stokeso teorema. Srovės divergencija. Potencialo - vektoriaus curl'is. Pirmoji ir antroji aplinkinės teoremos. Elektromagnetinio lauko pagrindinės lygtys. Elektromagnetinio sąjūdžio sklidimas bangomis 342

24 §. Periodinis kondensatoriaus išlydis. Kas yra elektromagnetinė banga ir elektromagnetinė radiacija? Henrich'o Hertz'o darbai. Hertz'o vibratoriai ir rezonatoriai. Elektromagnetinės bangos ir šviesos bangos. Zeemano efektas. Elektrono virpėjimai šviesos bangų priežastis. Pritaikymai. Bevielis telegrafas. Kohererio reikšmė. Bevielis telefonas. Termioniško plautelio reikšmė. Pasaulinis garsų perdavimas ir gaudymas. 361

25 §. Elektros išlydžiai per praskiestas dujas. Geislerio ir Crookso vamzdžiai. Katodo spinduliai. Spindulių materija. Röntgeno spinduliai arba X-spinduliai ir jų prigimtis. Neigiamos elektros atomai. J. J. Thomsono, Wilsono ir kitų darbai nustatant elektros įlydį ir masę elektronų. Anodo arba teigiami spinduliai. Teigiamų spindulių analizė. Izotopai. Protonas . . . 385

26 §. Radioaktingumas. Elementų transmutacija. Elektrinė atomo struktūra. W. Thomsono ir Rutherfordo atomo modeliai. Atominė energija. 404

27 §. Kristalų struktūra. X-spindulių prigimtis. Laue eksperimentai. W. H. ir W. L. Bragų darbai. X-spindulių spektrai. Moseley'o tyrinėjimai ir jo dėsnis. Bohro teorija. Pusiausvyros orbitos. Vandenilio atomo orbitos. . 413

Eteris ir relatyvybė.

28 §. Fizika ir matematika. Tarpininkaująs fiziniams procesams mediumas. Eteris ir absoliutinis judėjimas. Michelson'o ir Morley'o eksperimentas (1887). Fitz - Gerald'o išvados iš to eksperimento. Lorentz'o vietinis laikas ir koordinatų transformacija elektromagnetiniam laukui. Einšteino išvados iš Michelson'o ir Morley'o eksperimento (1905). Specialė ir bendroji relatyvybės teorija. Naujoji mechanika. Masės ir energijos tapatybė. Silpnos Einšteino teorijos pusės ir jos dabartinis krizis. 432

Uždaviniai 447

Dalykų ir vardų rodyklės 453

Pastebėtų klaidų atitaisymas.

Puslapis	Eilutė skaitant iš viršaus	Išspausdinta	Turi būti
8	44	polio	porio
16	16	jegu	jeigu
19	4	$\frac{T}{2\pi}\sqrt{\frac{2I}{r^3 tg\varphi}}$	$\frac{2\pi}{T}\sqrt{\frac{2I}{r^3 tg\varphi}}$
19	5	Padalinus	Padauginus
21	6	mate	matę
28	22	dA_3	dA_1
36	26	stiklio	stiklo
36	34	tiesiogine	tiesioginei
36	35	tiesiogine	tiesioginei
42	5	ištraukit	ištraukti
45	34	Ileisime	Įleisime
48	29	rutuliukų	ratukų
53	9	tik į vieno	tik vieno
56	23	dielektrikos	dielektriko
58	46	pusakyta	pasakyta
58	47	aiep	apie
61	5	S	S_1
62	10	$J_1 S_1 - J_2 S_2$	$I_1 S_1 - I_2 S_2$
63	17	$J_1 S_1 = J_2 S_2$	$I_1 S_1 = I_2 S_2$
63	31	J. S	I. S
64	43	pastūmima	pastūmimą
65	26	paviršiaui	paviršiui
81	18	andasi	randasi
82	23	$\frac{\varepsilon}{V}$	$\frac{E}{V}$
83	23	kuriuo apatinių,	apatinę
83	47	sukdama	sukant
86	9	potencialas	talpumas
88	3	koletorių	kolektorių
92	40	$\frac{q_1 q_2}{AC}$	$\frac{q_1 q_3}{AC}$
92	42	laikui	laukui
94	31	kiekiui	kiekiu
95	31	$\frac{4\pi\sigma}{K}$	$\frac{4\pi\sigma}{K\sigma}$
99	28	laika	laiką
101	24	užtasytas	užtaisytas
102	55	mouírlas	formnlas
103	6	E.	ε
103	24	E	ε
111	31	I	J
112	22	I	J
113	12	mcdiume	mediume
121	45	$Na^{\cdot}+ Na+ 80_4 =$	$Na,+ Na,+ 80_4=$
133	3	sujungamas	sujungimas
134	47	irodyti	įrodyti
135	51	T_1	T_2
136	53	lėkstė	lėkštė
141	47	medžiaga gąn	medžiaga, gan
141	48	pradžioje ir nepigi	pradžioje, nepigi
142	8	chemiška	chemiškai
142	22	sklrtingų	skirtingų

Puslapis	Eilutė skaitant iš viršaus	Išspausdinta	Turi būti
144	40	reide x, atleistą	raide x, atleista
146	23	difuzija	difuziją
147	32—33	batareja	batareją
153	3	vienetą šiaurės polį	šiaurės vienetą polį
153	18	svovė	srovė
154	12	3, 10^{10} cm.	$3 \cdot 10^{10}$ cm.
154	29	(r = Cn)	(r = CN)
154	30	AP	NP
154	31	Cn	CN
157	50	K K^{IV}	K^{I} K^{IV}
158	41	srovė ir per	srovė per
158	55	ltnija	linija
161	7	gulsčio	gulsčiu
161	159 pieš.		Atlenktos magnetinės adatos galus pažymėti raidėmis N' ir S'
162	24	magnetais	magnetai
164	10	augšti	augštį
171	168 pieš.		Greta su P_1 reikia padėti a_1
179	24	spyru-	spyruo-
180	18	pareina	pareiną
182	19	D	B
182	36	E,	E_1
182	37	r,	r_1
182	38	išvidinė	išvidinę
183	4	$\frac{S_1}{S_2}$	$\frac{s_1}{s_2}$
184	7	akumulatoriaus vielos polis	akumulatoriaus polis
186	31	pati	pat
190	54	mošinos	mašinos
198	41	vielą	vielų
199	3	ir radio	iridio
204	38	neigiama elektra	neigiamą elektrą
204	39	teigiama elektra	teigiamą elektrą
205	6	aniona	anioną
205	32	gramekvivalentus	gramekvivalentų
209	27	Na ir Cl	$\dot{N}a$ ir Cl'
210	45	minėta	minėtų
212	8	u_e	u_c
212	16	V_a	v_a
212	19	l_v	λ_v
212	42	Arrheniso	Arrheniuso
213	29	nurodytas	nurodytos
213	36	lauką	laiką
214	43	Ag	$A\dot{g}$
215	47	skirtumai	skirtumui
216	23	galime	
219	13	1 cm.	1 cm^3.
219	27	10000	1000
226	15	tirpalų	tirpalą
226	16	centraciją	centracijos
226	47	darbų suma galimų	galimų darbų suma
227	8	$\delta x RT \ln. \frac{p}{p_2}$	$\delta x RT \ln. \frac{P}{p_2}$
227	10	$E_3 \delta x$	$E_3 \delta F$
227	17	E_3	E_1
228	9	elaktros	elektros
229	19	tencija	tensija
232	45	su	
234	24	H·g	$H\dot{g}$
234	44	stipina	stipiną
237	25	kad	kada

Puslapis	Eilutė skaitant iš viršaus	Išspausdinta	Turi būti
240	2	rūgšti	rūgštį
245	47	A·g	A g
246	27—28	Per vieną ar dvi valandas	Per keletą valandų
247	9	elekroltią	elektrolitą
248	219 pieš.		Gulsčią punktyrų liniją pažymėti raidėmis B ir E
250	1	$\frac{2 i_2 1}{r}$	$\frac{2 i_2 i_1}{r}$
250	54	kuri	kurį
250	222 pieš.		Susikirtimą linijų AR ir s' pažymėti raide A'
254	36	= voltas	= 1 voltas
257	41	M = m. 1	M = m. 1
257	42	ir 1 šerdies	ir 1 šerdies
257	47	$= \frac{I}{H}$	$k = \frac{I}{H}$
258	37	magnatinės	magnetinės
261	15	$\frac{PV}{OV}$	$\frac{PW}{OW}$
262	14	iplenui	plienui
264	6	megnetinimo	magnetinimo
266	11	histerizio	histerezio
266	41	megnetizmo	magnetizmo
272	36	kintamoji srovė	kintamąją srovę
275	18	čai uždarydamas, čai	čia uždarydamas, čia
276	26	Henry'ui	Henry'o
277	35	laidininko	laidininkų
278	13	porodytą	parodytą
284	47	sujuntą	sujungtą
290	11	Taigi	Todel
292	1	jeigo	jeigu
292	22	sauindukcijos	saviindukcijos
293	11	sauindukcija	saviindukcija
295	5	Taigi	Todel
297	41	$\frac{4 \mu n i_1}{10}$	$\frac{4 \pi n i_1}{10} \mu$
302	27	300—400	30—40
303	51	sauin-	saviin-
304	34	$\frac{Q}{c}$	$\frac{Q}{C}$
305	15	$\sqrt{\pi n \mu_0 l R_0}$	$\sqrt{\frac{1}{2} \pi \mu_0 l R_0}$
306	21	$\sqrt{10^{18} + \pi^2 . 48^2 . 10^{10} . 10^4} = 1{,}81 . 10^9$	$\sqrt{10^{18} + 4\pi^2 . 48^2 . 10^{10} . 10^4} = 3{,}2 . 10^9$
306	21	arba 1,81	arba 3,2
306	22	gangreit du sykiu	gangreit tris sykius
310	21	K K"	K' K"
312	11	tūkstančių	tūkstančio
312	45	K,	K_1
320	2	žiedo	
333	9	kaip	kaip pirmėje
338	2	ski,	ski-
338	23	B' A' B	B A' B'
339	14	srovė špulėje	srovės špulėse
339	15	p	P, Q, R
339	17	c ir a	c, a ir b.
353	29	$\frac{27}{r}$	$\frac{2J}{r}$
353	32	$\frac{27}{r} . 2\pi r$	$\frac{2J}{r} . 2\pi r$
361	8	išlydžiais	išlydžius

Puslapis	Eilutė skaitant iš viršaus	Išspausdinta	Turi būti
363	21	(kintinė)	(kinetinė)
365	19	pedėtas	padėtas
366	9	Bonne	Bonno
367	16	skirtumos	skirtumas
368	32	CBC	CBC'
368	33	CBD	CBC'
369	13—14	tais pačiais absoliutiniais elektromagnetiniais vienetais	įvairiais vienetais
371	15	10^{10} cm.	10^{-10} cm
371	19	3 . 10^2 cm.	3 . 10^{-2} cm.
374			330 piešiny pažymėti L_2 antenoje
374	20	šitame	šitame straipsnyje
374	31	tarp AB	tarpo AB
374	35	$n = \frac{v}{2\pi\sqrt{L c}}$	$n = \frac{v}{2\pi\sqrt{L C}}$
374	44	antena; bus	antena, bus
375	7	oscilacijomis	oscilacijos
377	23	jis	ji
380	42	$n = \frac{1}{\sqrt{L C}}$	$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{L C}}$
381	11	oda	duoda
381	36	radiotelefonijai aplamai	rodiotelefonijai ir aplamai
384	34	variacijų	variacijas
386	23	kibirkštys	kibirkšties
386	55	1—3	$^1/_3$
393	31	(žiūr. 340 pieš.)	(žiūr. 343 pieš.)
394	12	violetiniąms	violetiniams ir ultravioletiniams
395	49	elektrodas nušviečiamas E	elektrodas E nušviečiamas
396	10	v	V
396	13	v	V
397	25	$\frac{ev}{r^2}\sin\varphi$	$\frac{ev}{r^2}\sin\varphi$
406	45	leidžiantieji	leidžiamieji
413	10	elektros	elektros atsparos
417	3	X-spindulių tokiu būdu, kad tie spinduliai	kad X-spinduliai
417	41	suprantantama	suprantama
419	51	$(m, + \mu,^2$	$(m_1 + \mu_1)^2$
421	9	raide v	raide ν
421	30	$\sqrt{\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9}\right) R}$	$\sqrt{\frac{\nu}{(^1/_4 - ^1/_9)\,R}}$
421	30	$\frac{}{36}$ RQ^2	$\frac{6}{36}$ RQ^2
431	27	tolimesnės į artimesnę orbitą	artimesnės į tolimesnę orbitą
431	35	įsigyti	atiduoti.
433	9	Santykiai	tarpininkai
433	54	kuri taip pat sukasi	
436	22	5_19 . 10^{-5}	5,9. 10^{-5} cm.
440	3	Larentz'o	Lorentz'o
441	20	$m_0\ c^2\left(1-\frac{c^2}{v^2}\right)^{-1/2}$	$m_0\ c^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$
443	25	įrodymu	įrodymui

Kaina **20** litų

Brangiau pardavinėti draudžiama